

Matias Koskinen

# Tuloilmaikkunoihin ja vakiopaineohjaukseen perustuva poistoilmanvaihtojärjestelmä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

15.5.2015

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Matias Koskinen Tuloilmaikkunoihin ja vakiopaineohjaukseen perustuva poistoilmanvaihtojärjestelmä 65 sivua + 4 liitettä 15.5.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, suunnittelupainotteinen
Ohjaajat	järjestelmäasiantuntija Kari Saarinen lehtori, DI Jorma Säteri
<p>Insinöörityössä esitellään koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä, jossa korvausilman sisäänotto tapahtuu tuloilmaikkunoiden kautta ja poistoilmapuhallinta ohjataan ulkolämpötilan mukaan vakiopaineohjauksella. Työn tavoitteena oli tuottaa järjestelmästä järjestelmäkuvaus ja tutkia sen avulla saavutettavia energiasäästöjä sekä kehittää menetelmä, jolla näitä energiasäästöjä voitaisiin arvioida ja osoittaa laskennallisesti.</p> <p>Insinöörityö jaettiin neljään pääosaan. Teoriaosassa esitellään asuntoilmanvaihdon perusteoria ja sen keskeiset ongelmat. Tekninen osa ja menetelmäosa muodostavat järjestelmäkuvauksen. Niissä käsitellään ratkaisuja, joiden avulla voidaan asuntoilmanvaihdon ongelmia korjata. Tutkimusosa keskittyy järjestelmän energiasäästöjen tutkimiseen.</p> <p>Teoriaosaa varten tutkittiin ilmanvaihdon perusteoriaa ja asuntoilmanvaihtoon liittyviä määryksiä ja ohjeita. Näistä koottiin kokonaisuus, joka auttaa ymmärtämään tutkittavan järjestelmän ratkaisuja. Insinöörityön sisältämä järjestelmäkuvaukseen muodostettiin kokoamalla tietoa olemassa olevasta teknisestä materiaalista yhdeksi kokonaisuudeksi, joka palvelee rakennushankkeen eri osapuolia rakennushankkeessa. Järjestelmäkuvaukseen luotaessa havaittiin, että rakennuksen tiiviydellä ja painesuhteilla on oleellinen merkitys järjestelmän toiminnalle. Tästä syystä työssä tutkittiin rakennuksen tiiviyn ja painesuhteiden vaikutusta tarvittavien ikkunaventtiilien määrään. Energiasäästöjä tutkittaessa havaittiin, että suuri osa tutkittavan järjestelmän energiasäästöistä saavutetaan ilman esilämmitessä tuloilmaikkunoissa. Insinöörityössä kehitettiin kaksi menetelmää, joilla tuloilmaikkunoilla saavutettuja energiasäästöjä voidaan arvioida laskennallisesti.</p> <p>Asuntoilmanvaihdon parantaminen on alue, jolle uudet ratkaisut ovat tervetulleita. Kokonaisuudessaan työ esittelee yhden mahdollisen koneellisen poistoilmanvaihdon korjauskonseptin, joka soveltuu erityisesti kohteeseen, jossa esimerkiksi ikkunoiden vaihdon yhteydessä joudutaan ja halutaan parantamaan myös ilmanvaihdon toimintaa helposti ja edullisesti.</p>	
Avainsanat	koneellinen poistoilmanvaihto, tuloilmaikkunat, perusparannus

Author Title Number of Pages Date	Matias Koskinen Exhaust ventilation system based on supply air windows and constant pressure control 65 pages + 4 appendices 15 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructors	Kari Saarinen, System Specialist Jorma Säteri, Senior Lecturer
<p>The purpose of the final year project was to create a system description of a mechanical exhaust ventilation system where the inlet air comes to a room through supply air windows and the exhaust fan is controlled by constant pressure control. Another goal was to develop a method to evaluate and calculate the energy savings of the system.</p> <p>The system description presented solutions developed to remove common problems in exhaust ventilation. For the system description, technical information of the main components of the system and their functions was gathered. The airtightness of a building is a major factor in exhaust ventilation. Its effects on the system were studied by calculating how the airtightness of the building influences the number of the necessary supply air windows.</p> <p>The energy savings of the system were calculated. It was established that the system can save energy because the inlet air is warmed up while flowing through a supply air window. In the project, two methods for estimating the energy savings due to the supply air windows were created. As a whole this Bachelor's thesis presents a possible concept for ventilation renovation concept. It can be used as a tool when planning or executing ventilation renovation.</p>	
Keywords	mechanical exhaust ventilation, supply air window, renovation

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Teoriaosa	2
2.1	Asuntoilmanvaihto	3
2.2	Koneellinen poistoilmanvaihto	4
2.3	Koneelliseen poistoilmanvaihtoon liittyvät määräykset ja ohjeet	6
2.4	Koneellisen poistoilmanvaihdon tyypilliset ongelmat	11
2.4.1	Korvausilman sisäänotto ja veto	11
2.4.2	Ilmanvaihdon ohjaus ja tehostus	11
2.4.3	Rakennuksen painesuhteet	12
2.4.4	Energiankulutus	17
3	Tekninen osa	17
3.1	Tuloilmaikkunoihin ja lämpötilakompensoituun vakio paineohjaukseen perustuvan ilmanvaihtojärjestelmän yleiskuvaus	18
3.2	Keskeiset komponentit	20
3.2.1	Huippuimuri	20
3.2.2	Yhteiskanavisto ja päätelaitteet	21
3.2.3	Ohjauslaitteet ja anturit	22
3.2.4	Tuloilmaikkunat	23
3.2.5	Eri ikkunaventtiilityypit	24
3.3	Järjestelmävaihtoehdot	27
3.4	Suunnittelu	28
3.4.1	Ilmamäärät	28
3.4.2	Ikkunaventtiilit ja tiiviys	31
3.4.3	Siirtoilmareitit ja vanhat korvausilmaventtiilit	37
3.4.4	Ilmanvaihdon ajokäyrät	38
3.4.5	Säätökaavio ja toimintaselostus	39
4	Menetelmäosa	39
4.1	Tyypillinen asennuskohde	39
4.2	Asuinkerrostalossa vaadittavat toimenpiteet	40

4.2.1	Uuden ohjausyksikön asennus	40
4.2.2	Puhaltimen ajokäyrän muodostaminen	41
4.2.3	Tasapainotus kokoomapisteeseen	41
4.2.4	Mittauspöytäkirja	46
4.2.5	Huolto ja optimointi	47
5	Tutkimusosa	47
5.1	Energiansäästö	47
5.1.1	Tuloilmaikkunoiden energiansäästö	48
5.1.2	Puhallinsähkön säästö	49
5.1.3	Energiansäästö toteutetuissa kohteissa	51
5.2	Energiansäästön osoittaminen ja korjausrakentamisen energiatehokkuusasetuksen toteutuminen	55
5.2.1	Energiansäästön arviointiin kehitetyt menetelmät	55
5.2.2	Menetelmien epävarmuudet ja niiden huomiointi	58
5.2.3	Korjausrakentamisen energiatehokkuusmääräyksien toteutuminen	60
6	Yhteenveto ja johtopäätökset	62
	Lähteet	64
	Liitteet	
	Liite 1. Säättökaavio	
	Liite 2. Mittauspöytäkirja	
	Liite 3. Rakennusten tiivyyden vaikutus koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaan	
	Liite 4. Energian säästön osoittaminen laskennallisesti, esimerkkilaskennat	

## Lyhenteet

RH %	<i>Relative humidity.</i> Suhteellinen kosteus.
SFP-luku	<i>Specific fan power.</i> Puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, kW/(m <sup>3</sup> /s)
VOC	<i>Volatile organic compound.</i> Haihtuvat orgaaniset yhdisteet ovat yksi oleellinen sisäilmaston häirtatekijä.
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

## 1 Johdanto

Suuri osa suomalaisista kärsii huonosta sisäilmasta. Tutkimuksien mukaan merkittävässä osassa koneellisella poistolla toteutetuissa kerrostaloissa ei täyty ilmanvaihdon vähimmäisvaatimus (1, s. 17; 2, s. 100). Riittämätön ilmanvaihto aiheuttaa riskejä ihmisten terveydelle ja rakenteiden toimivuudelle. Samoin hallitsematon ja liian tehokas ilmanvaihto aiheuttaa viihtyvyysongelmia asumisessa.

Oikeanlaisella asuntoilmanvaihdon parantamisella voidaan vaikuttaa merkittävästi sisäilman laatuun ja rakenteiden kuntoon. Hyvä ilmanvaihtojärjestelmä poistaa ilman epäpuhtaudet ja ylläpitää rakennuksessa sopivia painesuhteita. Lisäksi ilmanvaihtojärjestelmältä toivotaan nykyään tarpeenmukaisuutta ja energiatehokkuutta. (1, s. 9.)

Yksittäisillä ilmanvaihdon perusparannustoimenpiteillä ei välttämättä paranneta sisäilmastoa ja energiatehokkuutta, vaan tarvitaan tavoitteellisia kokonaisratkaisuja. On muistettava, että ilmanvaihtoon vaikuttavat monet rakennukseen kohdistuvat muutokset ja toimet, vaikka ne eivät suoraan koskisikaan ilmanvaihtojärjestelmää. Ilmanvaihtojärjestelmän muutokset tulee huomioida ainakin seuraavien toimenpiteiden yhteydessä:

- lämmitystavan muutos
- ulko- tai sisäverhouksen uusiminen
- ikkunoiden uusiminen
- väliseinien lisääminen
- märkätilojen rakentaminen. (1, s. 9.)

Erilaisia asuntoilmanvaihdon korjauskonsepteja on esitelty esimerkiksi VTT:n tiedotteessa T1945 (1). Markkinoilla olevista ratkaisuista tulisi valita kohdekohtaisesti teknisesti ja taloudellisesti kannattavin vaihtoehto.

Tässä insinööriyössä esitellään poistoilmanvaihtojärjestelmä, jossa korvausilma otetaan rakennukseen tuloilmaikkunoiden kautta ja puhallinta ohjataan ulkolämpötilan mukaan vakiopaineohjauksella. Järjestelmä on tarkoitettu asennettavaksi erityisesti ikkuna- ja julkisivuremontin yhteydessä koneellisella poistolla varustettuihin asuinkerrostaloihin parantamaan ilmanvaihdon toimivuutta ja energiatehokkuutta. Kohteissa, joihin tällainen

järjestelmä on asennettu, on saavutettu vähintään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 vaatima vähimmäisilmanvaihto ja Motiva Services Oy:n tekemän tutkimuksen mukaan noin 10–20 %:in energiasäästö kokonaisenergiankulutuksessa (24).

Työn tavoitteena on tuottaa järjestelmästä järjestelmäkuvaus, josta käy ilmi sen keskeiset komponentit, niiden toiminta ja järjestelmän asentamisessa käytetyt keskeiset menetelmät. Lisäksi tavoitteena on kehittää tapa, jolla järjestelmällä saavutettavia energiasäästöjä voidaan arvioida.

Insinööri työ on jaettu neljään osioon helpottamaan tarvittavan tiedon etsintää. Ensimmäisessä osassa esitellään ratkaisun pohjalla oleva teoria ja käytännön ongelmat, joita järjestelmällä pyritään ratkaisemaan. Toisessa osassa paneudutaan käytössä olevaan tekniikkaan, laitteisiin ja suunnitteluratkaisuihin. Kolmas osa käsittelee käytännön menetelmiä tyypillisessä asennuskohteessa. Neljäs ja viimeinen osa keskittyy järjestelmän energiansäästön tutkimiseen.

Insinööri työn sisältämä järjestelmäkuvaus toimii rakennuttajan ja suunnittelijan apuvälineenä korjaushankkeen suunnittelussa. Työn menetelmäosio toimii työkaluna järjestelmää asentavalle urakoitsijalle. Kokonaisuutena insinööri työ palvelee asuntoilmanvaihdon kehittämistä yleisellä tasolla esittelemällä uudenlaisen korjauskonseptin asuntoilmanvaihdon parantamiseen.

## **2 Teoriaosa**

Tässä osiossa esitellään lyhyesti se teoria, joka on työssä esitellyn poistoilmanvaihtojärjestelmän pohjalla. Luvussa kerrotaan asuntoilmanvaihdosta ja sen tavoitteista. Eri ilmanvaihtojärjestelmistä keskitytään koneelliseen poistoilmanvaihtojärjestelmään, ja sen toiminta esitetään pääpiirteissään. Tässä työssä käsiteltävä poistoilmanvaihtojärjestelmä on tarkoitettu parantamaan olemassa olevan koneellisen poiston toimintaa. Tämän vuoksi tässä luvussa käsitellään myös tyypillisiä koneellisen poistoilmanvaihdon ratkaisuja vanhassa asuntokannassa. Erityisesti pyritään tuomaan esiin ongelmat, joita koneellisessa poistoilmanvaihdossa on havaittu ja joita tuloilmaikkunoihin ja uudenaikaiseen poistoilmapuhaltimen ohjaukseen perustuvalla järjestelmällä pyritään korjaamaan.



## 2.1 Asuntoilmanvaihto

Ensisijainen asuinrakennusten ilmanvaihdon tavoite on ylläpitää hyvää sisäilman laatua asunnoissa koko rakennuksen käyttöaikana (3, s. 207). Ilmanvaihto tuo huoneisiin puhdasta ulkoilmaa ja poistaa asumisessa syntyviä epäpuhtauksia sisältävää likaista ilmaa. Tyypillisiä asumisessa syntyviä epäpuhtauksia ovat

- ihmisperäiset epäpuhtaudet kuten hiilidioksidi ja hajut
- kosteus
- rakennus- ja sisustusmateriaalien päästöt
- toiminnot kuten ruoanlaitto.

Epäpuhtauksien poistamisen lisäksi tulee ilmanvaihdon hallita rakennuksen painesuhteita siten, että kosteuden siirtyminen rakenteisiin estyy. Tämä tarkoittaa asuinrakennuksen alipaineistamista ulkoilmaan nähden. Paine-ero vaipan yli ei kuitenkaan saa olla liian suuri, etteivät esimerkiksi maaperän epäpuhtaudet pääsisi sisäilmaan.

Sisäilman puhtautta ja rakennuksen painesuhteita pyritään hallitsemaan erilaisilla ilmanvaihtojärjestelmillä. Asuntoilmanvaihdon tavoitteiden kannalta hyvällä ilmanvaihtojärjestelmällä on seuraavia ominaisuuksia:

- Ilmanvaihto poistaa sisäilman epäpuhtauksia ja tuo tilalle riittävästi raitista ilmaa.
- Järjestelmä estää kosteuden siirtymisen rakenteisiin.
- Ilma jaetaan puhtaisiin tiloihin ja poistetaan likaisista tiloista. Oikosulkuvirtauksia ei saa esiintyä.
- Ilmanvaihdon tulee toimia jatkuvasti ja olla tehostettavissa.
- Järjestelmän tulee olla vedoton, äänetön ja hajuton.
- Ilmanvaihto tapahtuu energiataloudellisesti. (4, s. 165.)

Millään ilmanvaihtojärjestelmällä ei saavuteta täydellisesti kaikkia asuntoilmanvaihdon tavoitteita. Järjestelmän valinnassa onkin kysymys tavoitteiden, tekniikan ja taloudellisuuden välisestä kompromissista. Erilaisia ilmanvaihtojärjestelmiä ja niiden ominaisuuksia on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Erilaisia asuinkerrostaloissa käytettyjä ilmanvaihtojärjestelmiä. (5, s. 458, muokattu)

Ilmanvaihtojärjestelmä	Kuvaus	Täydentävät osat
painovoimainen	Käyttövoimana toimii ilman lämpötiloista johtuva tiheysero. Yleensä on käytetty erilliskanavajärjestelmää.	kierrättävä liesituuletin, säädettävä liesituuletin rivi/pientaloissa
koneellinen poistoilmanvaihto	Käyttövoimana on poistoilmapuhaltimen tuottama alipaine rakennuksessa. Yleensä on käytetty yhteiskanavajärjestelmää. Ilmavirrat ovat yleensä kello-ohjattut.	korvausilmalaitteet, kierrättävä liesituuletin, liesikupu, säädettävä liesikupu lainauskytkenä tai erillinen poistoilmapuhallin
keskitetty tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä	Ilmanvaihtokone on yleensä rakennus- tai porraskohtainen. Ilmavirrat ovat yleensä kello-ohjattuja.	säädettävä liesikupu lainauskytkenä, erillinen poistoilmapuhallin
asuntokohtaiset ilmanvaihtokoneet	Pelkkä poistoilmapuhallin liesikuvussa, ilmanvaihtokone kylpyhuoneessa, ilmanvaihtokone erillistilassa asunnon ulkopuolella.	säätö liesikuvussa, tarpeenmukainen ilmanvaihto

Tässä insinööritöyssä keskitytään käsittelemään koneellista poistoilmanvaihtoa, siinä esiintyneitä ongelmia ja parantamismahdollisuuksia.

## 2.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

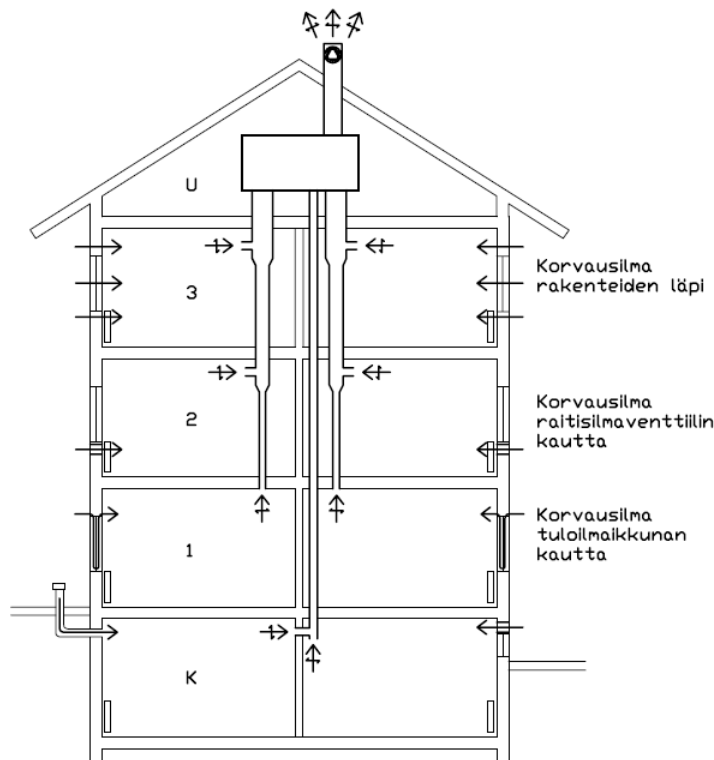
Koneellisessa poistoilmanvaihdossa vesikatolle asennetulla poistoilmapuhaltimella tai huippuimurilla tuotetaan rakennukseen alipaine, jonka avulla saadaan huoneisiin virtaa-

maan ulkoilmaa. Asumisen epäpuhtauksia sisältävä likainen poistoilma poistetaan asuntojen niin sanotuista likaisista tiloista (keittiö, wc, pesuhuone, vaatehuone) poistoilmaventtiilien kautta. Poistoilmaventtiilit ovat säädettäviä koneellisen poiston venttiileitä. Ulkoilma otetaan rakennukseen joko vaipan epätiiviyskohdista tai erillisistä korvausilmaventtiileistä. Ilma pyritään ottamaan asuinhuoneisiin, jolloin saadaan ilmavirtaus puhtaista tiloista likaisiin tiloihin päin.

Poistohormit voidaan viedä ullakolle saakka erillisinä, mutta yleisimmin on käytetty ns. yhteiskanavajärjestelmää, jossa päällekkäiset tilat on liitetty samaan ilmanvaihtokanavaan.

Poistopuhaltimen käyntiaikoja ohjataan yleensä kello-ohjauksella. Energian säästämiseksi useissa kohteissa kone toimii suurimman osan ajasta osateholla, oletettuina ruuanlaitto aikoina puhallin ohjataan pyörimään täydellä nopeudella. (2, s. 16; 4, s. 170; 6, s. 22.)

Kuvassa 1 on esitetty koneellisen poistoilmanvaihdon toiminta ja erilaisia korvausilmaratkaisuja.



Kuva 1. Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate ja erilaisia korvausilmaratkaisuja.

Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä on erittäin yleinen ilmanvaihtojärjestelmä 30–50 vuotta vanhassa rakennuskannassa. Vuosina 1960–1969 rakennettujen rakennusten rakennustilavuudesta koneellisen poiston järjestelmiä oli 71 %, ja 1970–1979 tämä luku oli jopa 91 %. (2, s. 12.)

Vanhassa rakennuskannassa on käytössä kahta erilaista järjestelmää: verrattain harvinaisen erilliskanavointi ja hyvin yleinen yhteiskanavointi. Erilliskanavoinnissa jokaiselta poistoilmaventtiililtä johtaa ullakolle oma kanavansa, yhteiskanavistossa päällekkäisten tilojen poistoilmakanavat on yhdistetty samaan hormiin. Kanavistot on tehty yleensä rakenneaineisina, ja niiden tiiviys on usein huono. Peltikanavat ovat harvinaisia ainakin paikallamuuratuissa kerrostaloissa. Elementtirunkoisissa peltikanavia on käytetty enemmän. Vanhoissa järjestelmissä ilmaa poistetaan yleensä säädettävien poistoilmaventtiileiden (säleikkö- tai lautasventtiilit) kautta. Korvausilma otetaan usein rakennuksen epätiiviyshkohdista hallitsemattomasti. Eri aikoina käytetyistä ratkaisuista kerrotaan Mäkiön teoksessa Kerrostalot 1960–1975 (7).

### 2.3 Koneelliseen poistoilmanvaihtoon liittyvät määräykset ja ohjeet

Suomen rakentamismääräyskokoelma ohjaa rakentamista Suomessa. Sen osiossa D2 (8) on annettu määräyksiä ja ohjeita rakennusten sisäilmastolle ja ilmanvaihdolle. D2:n määräykset ja ohjeet koskevat uuden rakennuksen sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa. Käytännössä rakennuksen tulee siis täyttää ne määräykset, jotka ovat olleet voimassa rakennusta rakennettaessa. Rakentamismääräyksissä on sekä määrääviä että ohjaavia kohtia. Lisäksi on paljon muuta materiaalia, jotka ohjaavat ja asettavat suositusarvoja ilmanvaihdolle mutta eivät ole suoranaisesti velvoittavia. Näitä ovat esimerkiksi Asumisterveysohje ja Sisäilmastoluokitus.

Tässä luvussa on luetteloitu Suomen rakentamismääräyskokoelman osien D2 ja D3 (9) määräyksiä ja ohjeita, jotka koskevat erityisesti koneellista poistoilmanvaihtoa. On tärkeätä ymmärtää, että nämä määräykset koskevat uudisrakentamista ja jokaisen rakennuksen tulee täyttää ne määräykset, jotka ovat olleet voimassa rakennusta rakennettaessa. Näitä määräyksiä voidaan kuitenkin hyvin käyttää ohjaamaan myös korjausrakentamista soveltuvien osien. Numerointi viittaa D2:n ja D3:n numerointiin. Sisennetty pieni-fonttinen teksti on suoraa lainausta määräyskokoelmista.

### 1.3.1

Näissä määräyksissä ja ohjeissa tarkoitetaan koneellisella poistoilmajärjestelmällä järjestelmää, jolla ilma poistetaan rakennuksesta koneellisesti puhaltimen avulla ja tilalle tulee ulkoilmaa sekä ulkoilmalaitteiden kautta että rakenteiden ilmavuotoina.

### 3.2.2.1

Ulkoilmavirtojen mitoittamiseen käytetään ensisijaisesti tilakohtaisia ohjearvoja, joita esitetään liitteessä 1. Ulkoilmavirta määräytyy ensisijaisesti henkilöperusteen mukaan. Jos henkilökuormituksen mukaiselle ilmavirtojen mitoitukselle ei ole riittäviä perusteita, käytetään pinta-alan perustuvaa mitoitusta.

Yleensä ulkoilmavirta tulee kuitenkin olla vähintään  $0,35 \text{ (dm}^3\text{/s) / m}^2$ , joka vastaa ilmanvaihtokerrointa  $0,5 \text{ 1/h}$  huoneessa, jonka vapaa korkeus on  $2,5 \text{ m}$ .

### 3.2.3.1

Asuinrakennuksen ilmanvaihdon ohjaus suunnitellaan ja rakennetaan niin, että asunnon käyttöajan tehostettu ilmavirta on vähintään 30 % suurempi kuin käyttöajan ilmavirta. Ilmanvaihdon tehostus toteutetaan yleensä vähintään liesikuvun tehostetulla ilmavirralla liitteen 1 ohjearvojen mukaisesti.

### 3.7.6.1

Rakennus suunnitellaan yleensä ulkoilmaan nähden hieman alipaineiseksi, jotta voitaisiin välttyä kosteusvaurioilta rakenteissa sekä mikrobien aiheuttamilta terveyshaitoilta. Alipaine ei kuitenkaan saa yleensä olla suurempi kuin  $30 \text{ Pa}$ .

### 3.7.8

Rakennuksen tavanomainen käyttö tai sään vaihtelu ei saa merkittävästi muuttaa rakennuksen tai huonetilojen paineita eikä heikentää ilmanvaihtoa.

### 3.7.8.1

Ilmanvaihtojärjestelmän paineet suunnitellaan ja toteutetaan siten, etteivät sään vaihtelut muuta ilman virtaussuuntia rakennuksessa.

### 4.1.2

Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus on tarkastettava ja järjestelmä on tarvittaessa puhdistettava ennen ilmavirtojen mittausta ja säätöä.

#### 4.1.2.3

Ilmavirtojen perussäätö tehdään yleisimmän käyttötilanteen mukaisella käyttöajan tehostamattomalla ilmavirralla. Säätölaitteiden asetus suoritetaan eri vuodenaikojen keskimääräisiä olosuhteita vastaavissa käyttötilanteissa. Paineiden suunnitelmamukaisuus todetaan savukokein tai ilmavirta- ja paine-eromittauksin.

#### 4.1.2.4

Ilmanvaihtojärjestelmän virtaus-, ääni-, sähkö- ja lämpötekniset suoritussarvot mitataan vähintään järjestelmän käyttöajan tehostamattomalla mitoitusilmavirralla ja asunnoissa myös tehostetulla mitoitusilmavirralla. Hyväksyttävät poikkeamat mitoitussarvoista ovat yleensä seuraavat:

1) ilmavirta järjestelmäkohtaisesti  $\pm 10 \%$ ;

2) ilmavirta huonekohtaisesti  $\pm 20 \%$ ;

Ilmanvaihdon energiatehokkuudesta on määrätty rakentamismääräyskokoelman osassa D3 muun muassa seuraavaa:

#### 2.6.1

Ilmanvaihdon energiatehokkuus varmistetaan rakennuksen käytön kannalta tarkoituksenmukaisilla keinoilla tinkimättä terveellisestä, turvallisesta ja viihtyisästä sisäilmastosta.

##### 2.6.1.1

Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään  $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ .

Yhteenvedona asuntoilmanvaihtoon liittyvistä määräyksistä ja ohjeista eri aikakausina voidaan todeta seuraavaa:

- 1940-luvun ohjeissa (Rakentajain kalenteri, 1940) ilmanvaihto oli suuri, asuinhuoneissa jopa 1–1,5 1/h.
- 1954 voimaan tulleissa normaalimääräyskomitean lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden suunnittelun normaaliohjeissa poistoilmavirrat pienenivät lähes nykyiselle tasolle. 1966 julkaistuissa normaaliohjeissa ohjeilmavirrat pienenivät entisestään.
- 1978 laadittiin rakentamismääräyskokoelman osa D2. Tällöin asuinrakennukseen ohjeilmavirta oli 0,35 l/s ulkoilmaa neliötä kohden. Tämä vastaa ilmanvaihtokerrointa 0,5 1/h.

- Vuoden 2012 D2:n mukaan ilmanvaihdon tulee yleensä olla vähintään 0,5 1/h. (2 s. 22.)

### Korjausrakentamisen energiatehokkuus

Tässä työssä käsiteltävänä oleva järjestelmä on räätälöity asennettavaksi korjaushankkeen yhteydessä parantamaan ilmanvaihdon toimintaa ja lisäämään energiatehokkuutta. Koska uudistuneet korjausrakentamisen energiatehokkuuden määräykset liittyvät oleellisesti asuinkerrostalojen ikkuna- ja julkisivuremontteihin, joiden yhteydessä ko. järjestelmä on tarkoitettu asennettavaksi, käsitellään tässä luvussa uusien määräysten vaikutusta korjaushankkeeseen.

Ympäristöministeriön asetus 4/13 (10) antaa määräyksiä korjausrakentamisen energiatehokkuudelle. Määräykset koskevat rakennuksia, joissa käytetään energiaa tai joissa tehdään rakennus- tai toimenpideluvanvaraisia korjaus- ja muutostöitä (1§).

On otettava huomioon, ettei pelkkä ilmanvaihtojärjestelmän remontti ilman järjestelmän muuttamista yleensä edellytä rakennuslupaa, ei myöskään laitteiden uusiminen. Sen sijaan esimerkiksi ikkunoiden uusimisen asuinkerrostaloissa katsotaan usein vaikuttavan merkittävästi energiatehokkuuteen tai ulkonäköön, jolloin sen toteutus vaatii rakennusluvan. (11.)

Luvanvaraiseen korjaus- tai muutostyöhankkeeseen ryhtyvän on esitettävä toimenpiteet, joilla rakennuksen energiatehokkuutta aiotaan parantaa (2§). Määräysten täyttyminen voidaan osoittaa rakennusosakohtaisesti (4§), standardikäytön mukaisen energiankulutuksen vähenemisellä (6§) tai standardikäyttöön perustuvan kokonaisenergiankulutuksen (E-luku) pienenemisellä (7§). Lisäksi on määrätty erikseen teknisten järjestelmien energiatehokkuudesta (5§).

Rakennusosakohtaiset vaatimukset luvanvaraisen korjausrakentamisen yhteydessä on esitetty seuraavassa listauksessa olettaen, että rakennuksen käyttötarkoitus pysyy ennallaan:

- Ulkoseinä: Alkuperäinen U-arvo x 0,5, kuitenkin enintään 0.17 W/(m<sup>2</sup>K).
- Yläpohja: Alkuperäinen U-arvo x 0,5, kuitenkin enintään 0.09 W/(m<sup>2</sup>K).
- Uusien ikkunoiden ja ulko-ovien U-arvon on oltava 1.0 W/(m<sup>2</sup>K) tai parempi.

Kun rakennuksen energiatehokkuuden parantamisen suunnittelu ja toteutus tapahtuu rakennuksen standardikäyttöön perustuvaa energiankulutusta pienentämällä, on asuinkerrostaloissa toteuduttava seuraava energiankulutuksen vaatimus:

Asuinkerrostalo  $\leq 130 \text{ kWh} / \text{m}^2$ .

Kun rakennuksen energiatehokkuuden parantamisen suunnittelu ja toteutus tapahtuu rakennuksen standardikäyttöön perustuvaa kokonaisenergiankulutusta (E-luku) pienentämällä, on täyttyvä seuraava kriteeri:

Asuinkerrostalo: E-vaadittu  $\leq 0,85 \times \text{E-laskettu}$ .

Edellä esitetyistä kolmesta vaihtoehdosta on rakennushankkeeseen ryhtyvän päätettävä tapa, jolla asetuksen toteutuminen osoitetaan.

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on esitettävä osoittaakseen korjausrakentamisen energiatehokkuusasetuksen täyttymisen riippuen valitusta tavasta:

- Ikkunoiden, ulko-ovien ja vaipan osalta rakennusosakohtaisen lämmönläpäisykertoimen pieneneminen vaaditulle tasolle.
- Kokonaisvaikutusta koskeva suunnitelma, jossa täyttyy standardikäytönmukaisen kokonaisenergiankulutuksen pieneneminen toisella edellä esitetyistä tavoista.

Lisäksi on osoitettava, kuinka varmistetaan ilmanvaihdon oikea toiminta ja kuinka huolehditaan riittävästä tuloilman saannista (11§). Samoin on varmistettava lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän oikea ja energiatehokas toiminta sekä tehtävä taloteknisten järjestelmien tasapainotus ja säätö tarpeellisin osin (12§). Insinööriyön tutkimusosassa on pohdittu, kuinka työssä käsiteltävän järjestelmän avulla voitaisiin osoittaa näiden asioiden toteutumista.

Jos rakennuksessa parannetaan energiatehokkuutta muulloin kuin luvanvaraisten töiden yhteydessä, voidaan näiden toimenpiteiden vaikutus ottaa huomioon myöhemmin toteutettavassa hankkeessa (9§). Tämä on osoitettava luvan hakemisen yhteydessä toimitettavalla selvityksellä (13§).



## 2.4 Koneellisen poistoilmanvaihdon tyypilliset ongelmat

Tuloilmaikkunoilla ja puhaltimen lämpötilakompensoidulla vakiopaineohjauksella on lähtökohtaisesti pyritty vastaamaan asuinkerrostalon korjauksien yhteyksissä ilmentyneisiin ilmanvaihdon ongelmiin. Tässä luvussa käsitellään koneellisessa poistoilmanvaihdossa asuinkerrostaloissa yleisesti esiintyneitä ongelmia.

### 2.4.1 Korvausilman sisäänotto ja veto

Yksi koneellisen poistoilmanvaihdon merkittävimmistä ongelmista on vedon tunne. Vedon tunne syntyy lämmön siirtymisestä iholta. Tähän vaikuttavat erityisesti ilman nopeus ja lämpötila sekä ihmisistä pintoihin siirtyvä lämpösäteily (12, s. 26). Koneellisessa poistoilmanvaihdossa vedon tunne syntyy, kun ulkoilmaa virtaa huoneisiin lämmittämättömänä ja hallitsemattomasti.

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa käyttövoimana on puhaltimen rakennukseen tuotama alipaine. Ilma virtaa aina pienemmästä paineesta suurempaan ja virtaus tapahtuu niin sanottua helpointa reittiä pitkin. Virtausreitin helppoutta kuvaa se painehäviö eli mitä pienempi painehäviö sitä helpompi reitti (6, s. 19). Tyypillisesti vanhoissa koneellisella poistolla varustetuissa asuinkerrostaloissa korvausilma on otettu rakennuksen epätiiviskohdista (2, s. 16). Tällöin virtausreitit ovat usein hallitsemattomia, ja ilmaa virtaa niistäkin tiloista ja kohdista, joista ei haluta, aiheuttaen veto-ongelmia. Huoneiston muoto ja huonejärjestelyt vaikuttavat siihen, tuleeko ulkoilmaa ollenkaan esimerkiksi makuuhuoneisiin (1, s. 15). Myös siirtoilmareittien toimivuus vaikuttaa oleellisesti ilman liikkumiseen rakennuksessa.

Korvausilman sisäänoton hallitsemattomuus saattaa aiheuttaa myös esimerkiksi hajuhaittoja. Korvausilmaa saattaa tulla rakennukseen esimerkiksi rappukäytävästä tai viemärin kautta, jolloin ilma saattaa hajujen lisäksi sisältää myös epäpuhtauksia.

### 2.4.2 Ilmanvaihdon ohjaus ja tehostus

Toinen keskeinen ongelma koneellisessa poistoilmanvaihdossa on sen riittämättömyys osatehoilla. Vuoden 1978 rakentamismääräyksissä suositeltiin ilmavirtojen puolittamista

energian säästämiseksi, kun ulkolämpötila laskee 15 °C korkeammaksi kuin paikkakunnan mitoitussulkolämpötila. Tätä on yleisesti käytetty niin, että poistoilmapuhallin toimii suurimman osan ajasta osateholla. Täysi teho on käytössä vain tehostusaikana, joka ei aina noudata asukkaiden asumistottumuksia. Ilmanvaihto on riittävä vain täydellä teholla ja osateholla asumisesta syntyvien epäpuhtauksien, kuten ruuanlaiton hajujen poistaminen, ei onnistu. (1, s. 14.)

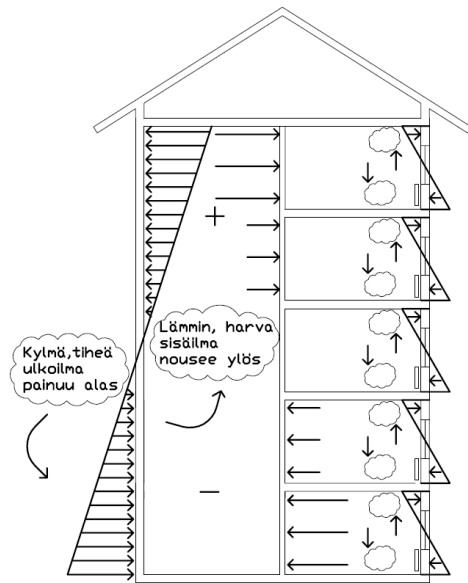
Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ilmanvaihto ei ole yleensä asukkaiden ohjattavissa. Tutkittaessa tyypillisiä koneellisen poiston kohteita on tultu tulokseen, että asukkaan mahdollisuuksia säätää ilmavirtoja tarpeen mukaan tulisi lisätä. (2, s. 72.)

### 2.4.3 Rakennuksen painesuhteet

Rakennuksessa vallitseviin painesuhteisiin vaikuttaa puhaltimen tuottama alipaine, tuuli ja terminen paine-ero (21). Terminen paine-ero tarkoittaa erilämpöisten ilmojen tiheyksistä aiheutuvaa paine-eroa (3, s.112). Korkeissa kerrostaloissa, joissa on avonainen rappukäytävä, tapahtuu termisen paine-eron takia helposti niin sanottu hormi-ilmiö, jossa syntyy ylipainetta ylimpiin kerroksiin etenkin talvitilanteessa (22, s. 28). Samoin tuuli aiheuttaa avoimella paikalla olevaan korkeaan kerrostaloon helposti ylipaineisuutta. Asuntojen tulisi kuitenkin olla riittävän alipaineisia, jotta koneellinen poistoilmanvaihto toimisi suunnitellulla tavalla. Kun alipaine rakennuksessa on riittävä, eivät ulkoiset olosuhteet vaikuta merkittävästi huoneistokohtaisiin ulkoilmavirtoihin.

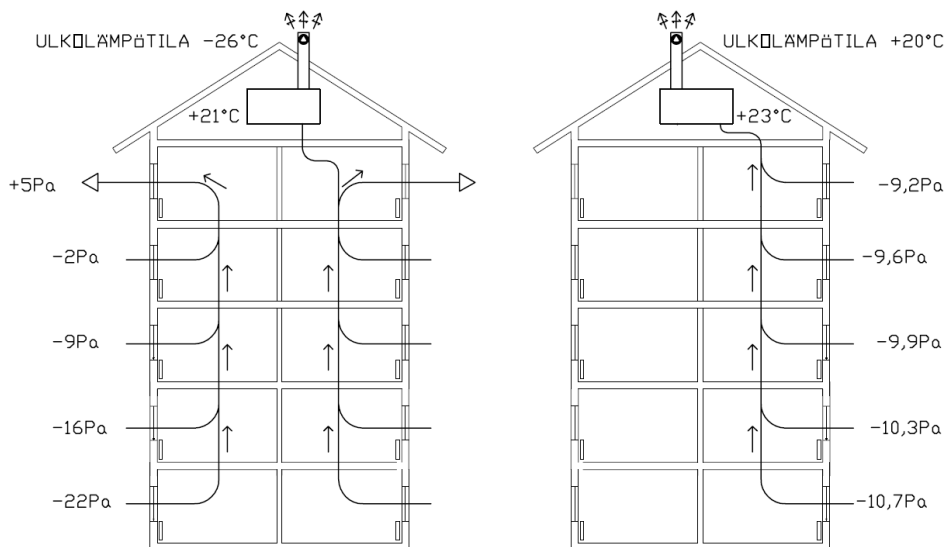
#### Terminen paine-ero

Terminen paine-ero syntyy sisäilman ja ulkoilman tiheyksien erosta. Kylmä ulkoilma painaa lämmintä sisäilmaa enemmän. Tästä syystä kylmä ilma laskeutuu alas, ja lämmin ilma virtaa sen tieltä pois. Myös huoneiston sisälle saattaa muodostua lämpötilojen kerrostumisesta johtuva paine-ero huoneen ylä- ja alaosan välille. Kuvassa 2 on esitetty, kuinka terminen paine-ero muodostaa ylipaineen rakennuksen yläosaan ja kuinka ilma liikkuu rakennuksen sisällä.



Kuva 2. Ulko- ja sisäilman erilämpöisten ilmojen tiheyserosta johtuva terminen paine-ero (23, s.13, muokattu).

Terminen paine-ero on voimakkaasti riippuvainen ulkoilman lämpötilasta. Kesätilanteessa sen vaikutukset ilmanvaihtoon ovat vähäiset, mutta talvitilanteessa sillä on oleellinen merkitys. Kuvassa 3 on esitetty, kuinka ulkolämpötila vaikuttaa rakennuksessa vallitseviin painesuhteisiin.

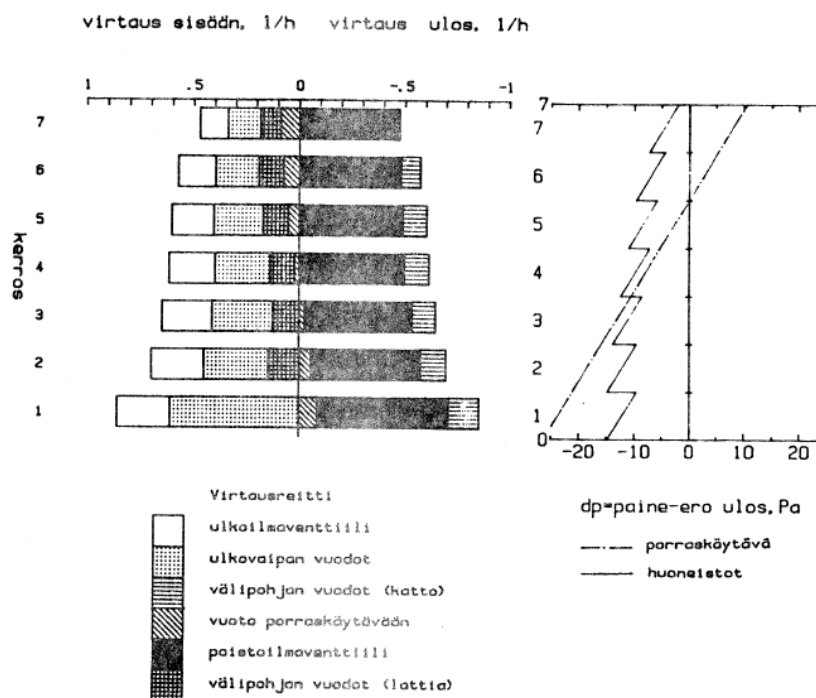


Kuva 3. Terminen paine-ero.

Kuvan tapaukset on laskettu olettamalla, että termisen paine-eron neutraaliakseli (kohta, jossa ilman ilmanvaihdon vaikutusta ilmanpaine on sama kuin rakennuksen ulkopuolella)

on rakennuksen puolella välissä. Neutraaliakselin alapuolella oleviin tiloihin aiheutuu termisestä paine-erosta johtuen alipainetta ja ylempiin ylipainetta. Ilmanvaihdon on ajateltu tuottavan rakennukseen  $-10$  Pa:n alipaineen. Huoneistojen painesuhteet on laskettu summaamalla termisen paine-eron vaikuttama paine 2 metrin korkeudella kerroksen lattiapinnasta ja ilmanvaihdon rakennukseen vaikuttama paine yhteen. Kuvan tilanne on teoreettinen, koska neutraaliakselin sijaintia on käytännössä vaikea tarkkaan määrittää. Sen sijainti riippuu rakennuksen vaipan epätiiviyyskohtien korkeusasemista ja niiden virtausvastuksista, jotka voivat vaihdella satunnaisesti rakennuksessa (21). Kuvasta 3 havaitaan kuitenkin, kuinka kesätilanteessa huoneistot voivat olla alipaineisia jokaisessa kerroksessa, mutta talvitilanteessa ylin kerros saattaa olla ylipaineinen ja ilman virtaus voi tapahtua väärään suuntaan aiheuttaen ongelmia rakenteille.

Ulkolämpötilan, painesuhteiden ja rakennuksen ulkoisen ja sisäisen tiiviyden suhteita on tutkittu laskennallisesti VTT:n tiedotteessa 737 (22). Tutkimuksessa esimerkkinä käytettyssä asuinkerrostalossa ilmavirrat ja painejakaumat olivat kuvan 4 mukaiset, kun ulkoilman lämpötila oli  $-20$  °C, kanavistopaine 100 Pa ja asuinkerroksien poistoilmavirrat 0,5 1/h.



Kuva 4. Asuinkerrostalon ilmavirtaukset ja painesuhteet (22, s. 86).

Kuvasta 4 havaitaan, kuinka termisen paine-eron vaikutuksesta alimmissa kerroksissa alipaineisuus ja ilmanvaihtuvuus ovat suuremmat kuin ylemmissä kerroksissa. Alakerroksien asunnoista ilmaa virtaa porraskäytävään, kun taas yläkerroksissa virtausuunta on porraskäytävästä asuntoihin päin. Painejakaumasta havaitaan myös, ettei termisen paine-eron vaikutus ole yhtä suuri asuntolinjassa kuin porrashuoneessa. Huoneistojen sisällä syntyvä paine-ero näkyy kuvaajassa kerroksien välisinä pykälinä.

Oleellinen tekijä rakennusten painesuhteiden hallinnassa on sen tiiviys. Tiiviissä rakennuksessa ulkoilman lämpötilan ja tuulen vaikutus ilmanvaihtoon ei ole niin suuri kuin hatarassa rakennuksessa ja myös korvausilman sisäänotto on hallitumpaa. Tiiviissä rakennuksessa on kuitenkin huolehdittava riittävästä korvausilman saannista. Erityisesti tästä on huolehdittava, jos rakennus tiivistyy esimerkiksi ikkunoiden vaihdon tai julkisivun korjauksen yhteydessä, koska tiivistymisen jälkeen ilmanvaihto ei enää toimi entiseen tapaan. Ongelmana onkin usein ilmanvaihdon huomiotta jättäminen muiden perustarvikkeiden yhteydessä (6, s. 62). Tyypillinen esimerkki tästä on asuinkerrostalo, jossa ikkunaremontin jälkeen on havaittu neutraaliakselin yläpuolisten ikkunoiden huurtumista talvitiilanteessa. Tämä johtuu termisen paine-eron aiheuttamasta ylipaineisuudesta, jonka vaikutukset korostuvat rakennuksen ulkovaipan tiivistyessä samalla, kun sisäinen tiiviys ei parane. Parantamalla sisäistä tiiviyyttä voidaan vähentää hormivaikutuksen ongelmia. Suurin yksittäinen sisäiseen tiiviyteen vaikuttava tekijä on porraskäytävöiden tiiviys. Ilmanvaihdon painesuhteiden hallinnan kannalta onkin olennaista vaihtaa vanhojen ovien tiivisteet uusiin tai uusia ovet. Samoin välipohjien kautta tapahtuvaa vuotoa vähentämällä voidaan vähentää niiden kautta tapahtuvaa hormivaikutusta. Asuinkerrostalolle tehdyissä laskelmissa on havaittu, että sisäisen tiiviyden parantaminen vaikuttaa rakennuksen painesuhteisiin taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2. Sisäisen tiiviyden parantamisen vaikutukset asuinkerrostalon painesuhteisiin (22, s. 86–88 perusteella).

Paine-ero ulkovaipan yli	Alkutilanne	Välipohjat tiivimmät	Välipohjat ja porrasovet tiivimmät
Ylin kerros (Pa)	–2,5	–4	–5
Alin kerros (Pa)	–15	–12,5	–12

Taulukosta havaitaan, että sisäisen tiiviyden parantuessa termisen paine-eron vaikutus vähenee ja sen alakerrokseen aiheuttama alipaine ja yläkerrokseen aiheuttama ylipaine pienenevät.

Koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä paine-erot ovat haitallisia myös koska ne muuttavat ilmavirtoja. Tästä syystä järjestelmän säädön ja tasapainotuksen yhteydessä tulee huomioida ulkoisten olosuhteiden vaikutukset. Tasapainotuksen yhteydessä on mahdollista kompensoida termisen paine-eron aiheuttamia ongelmia (ks. luku 4.2.3 Tasapainotus kokoomapisteeseen).

#### Rakennuksen alipaineisuus

Eri lähteet antavat erilaisia ohjeita asuntojen tavoiteltavalle alipaineisuudelle. LVI-ohjekortin LVI 73–40011 (13) mukaan tulisi paine-eron olla korkeassa 4–7 -kerroksisessa kerrostalossa 15–20 Pa riippuen maaston suojaisuudesta. Matalammissa rakennuksissa alipaineisuuden suositellaan olevan n. 10 Pa. Korkeaan alipaineisuuteen on pyritty, jotta ilmanvaihto olisi mahdollisimman hallittu joka tilanteessa. Käytännössä korkeaa alipaineisuutta on hankala saavuttaa korjauskohteissa rakennuskannan heikon tiiviyyden vuoksi ilman veto-ongelmia ja ilmanvaihdon kasvamista. Tutkittaessa tietokonesimuloinnilla tyypillistä asuinkerrostaloa erilaisilla ilmanvaihtojärjestelmillä havaittiin, että alipaine sisällä vaihteli normaalipaineisessa koneellisessa poistojärjestelmässä ilman ulkoilmaventtiileitä välillä 3–8 Pa ja ulkoilmaventtiilien kanssa 1–3 Pa (2, s. 64). Tutkimuksessa todetaan, että ulkoilmaventtiilien lisääminen pienentää ulkoseinänä yli vallitsevaa paine-eroa, jolloin herkkyys tuulen aiheuttamalle läpivirtaukselle kasvaa. Toisaalta ulkoilma voidaan venttiilien avulla tuoda oleskeluvyöhykkeelle. Näidenkin eroavaisuuksien perusteella voidaan sanoa, ettei yhtä ainoaa oikeaa paine-eroa rakennuksen ulkovaipan yli ole, vaan tämä tarvitsee aina määrittää tapauskohtaisesti. Paine-eron valintaan vaikuttavia muuttujia ovat

- rakennuksen sijainti (avoin vai suojainen maasto)
- rakennuksen korkeus
- rakennuksen tiiviys
- tarvittava ulkoilmavirta.

Parhaiten ilmanvaihto on hallittavissa kun paine-ero vaipan yli on riittävän suuri. Helposti kuitenkin ajaudutaan tilanteeseen, jossa alakerran asuntojen alipaine kasvaa liian suureksi kun hormivaikutusta ei ole riittävästi kompensoitu ilmanvaihdon säädössä. Tällöin

alakerrassa vuotoilma rakenteiden ja alapohjan kautta lisääntyy, ja niissä olevat epäpuhtaudet siirtyvät sisäilmaan (6, s. 62). Samoista syistä tuloilmaikkunasta vedottomasti saatava ilmamäärää saattaa ylittyä alipaineisuuden kasvaessa.

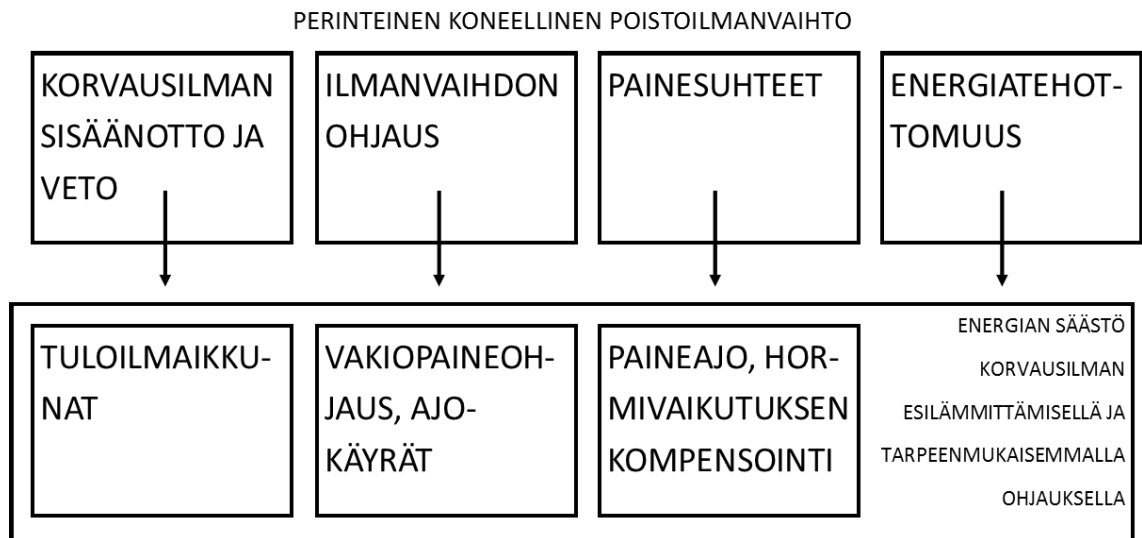
#### 2.4.4 Energiankulutus

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ulkoilmaa imetään asuntoihin yleensä lämmittämättömänä. Ilma lämpenee huoneessa olevien lämmityslaitteiden avulla. Poistoilma imetään katolle, jolloin ilman sisältämä lämpöenergia menee hukkaan. Ilmanvaihto onkin yksi rakennuksen suurimmista energian tuhlaajista. Tyypillisen 50–70 -luvun asuinkerrostalon koneellisen poiston järjestelmä aiheuttaa 25–35 % rakennuksen lämpöhäviöistä.

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa energiaa tuhlaa myös usein poistoilmapuhaltimen virheelliset käyntiajat. Tavallisesti tehostustarve ja puhaltimen tehostusajat eivät kohtaa. Kun puhallinta ei ole mahdollista ohjata kuin vain kahdella nopeudella, saattaa puhallin käydä joskus täydellä teholla tarpeettomasti. Tällöin energiaa tuhlaantuu sekä lämpimän ulkoilman mukana ulos että puhallinsähkönä.

### 3 Tekninen osa

Edellä on esitetty Suomen asuntokannassa yleisen koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaa ja sen yleisiä ongelmia. Tässä luvussa esitellään koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä, jossa korvausilma otetaan tuloilmaikkunoiden kautta ja puhallinta ohjataan ulkolämpötilan mukaan vakiopaineohjauksella. Järjestelmä on yksi mahdollinen perusparannustoimenpide vanhalle koneellisen poiston järjestelmälle. Kuvassa on esitetty ne ongelmat, joita tällä järjestelmällä pyritään ratkaisemaan.



Kuva 5. Ongelmat ja ratkaisut.

Teknisessä osassa esitetyn aineiston lähteenä on käytetty pääasiassa Inwido Finland Oy:n teknistä materiaalia. Muut lähteet on merkitty tekstiin.

### 3.1 Tuloilmaikkunoihin ja lämpötilakompensoituun vakiopaineohjaukseen perustuvan ilmanvaihtojärjestelmän yleiskuvaus

Tuloilmaikkunoihin perustuva poistoilmanvaihtojärjestelmä on tarkoitettu koneellisella poistoilmanvaihdolla toteutettujen asuinkerrostalojen ilmanvaihdon perusparannustoimenpiteeksi ikkunaremontin yhteydessä. Järjestelmään liittyvät oleellisesti

- huippuimurin ohjaus- ja valvontayksikkö
- lämpö- ja paineanturit
- tuloilmaikkunat.

Järjestelmän toimituksen yhteydessä tehtäviä toimenpiteitä ovat

- ilmanvaihtokoneen ja venttiilien puhdistus
- järjestelmän asennus ja ilmanvaihdon säätö
- järjestelmän hienosäätö ensimmäisen lämmityskauden jälkeen.

Lisäpalveluina järjestelmän hankinnan yhteydessä on mahdollista saada



- ilmanvaihdon kartoitus
- automaattinen ilmanvaihdon tehostus kesällä
- järjestelmän etähallinta
- ilmanvaihtokanaviston nuohous
- huoltopalvelu.

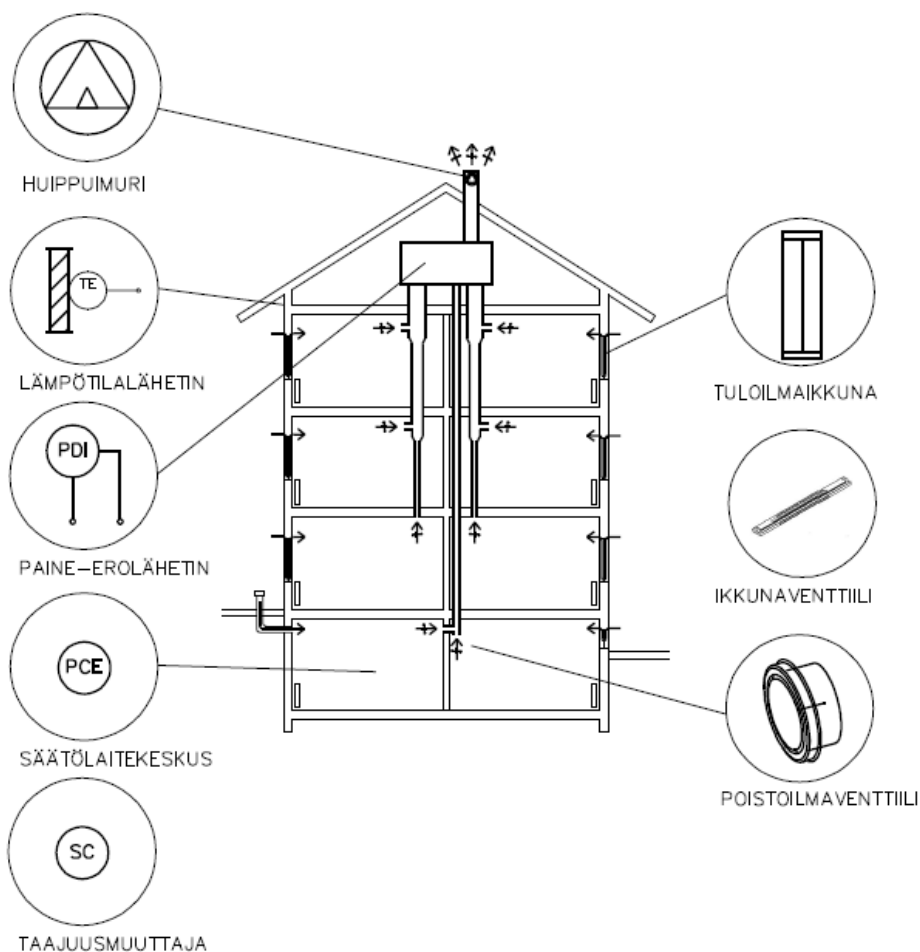
Järjestelmä on helppo ja kustannustehokas tapa parantaa asuinkerrostalon sisäilman laatua ja energiatehokkuutta. Järjestelmän asennuksen yhteydessä asennetaan huippuimurille uusi ohjausyksikkö ja vanhat ikkunat vaihdetaan tuloilmaikkunoiksi. Uuden ohjausyksikön avulla ohjattavan huippuimurin välityksellä rakennuksesta poistetaan ilmaa vanhojen poistoilmakanavien ja -venttiilien kautta. Korvausilma otetaan osittain hallitusti uusien tuloilmaikkunoiden kautta. Tuloilmaikkunoissa ilma virtaa ikkunaventtiilin kautta huoneeseen lämmeten samalla kiertäessään ikkunalasien välissä.

Järjestelmän ohjausyksikkö pitää tarvittavan ilmamäärän mukaisen poistoilmakanavapaineen asetusarvossaan säätämällä puhaltimen moottorin tehoa taajuusmuuttajalla paine-eromittauksen perusteella. Kanavapaine määräytyy useimmiten siten, että pienellä poistopaineella tuottaa puhallin toleranssien puitteissa 0,5 kertaisen ilmanvaihdon asuntoihin ja suurella poistopaineella puhallin tehostaa perusilmanvaihtoa vähintään 30 %. Poistoilmapuhallin käy aikaohjelman mukaan tehostuksella ja muun ajan perusilmanvaihdoilla. Näin toteutuu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 asutoilmanvaihdolle asettama vähimmäisvaatimus ja tehostusvaatimus. Kanavapaine määräytyy ulkolämpötilan mukaan talokohtaisesti asetetulla paine-lämpötila ajokäyrällä.

Tässä työssä esitellyllä poistoilmanvaihtojärjestelmällä voidaan parantaa sisäilmasto-olosuhteita ja energiatehokkuutta perinteiseen poistoilmanvaihtoon nähden. Älykkään ohjausyksikön ja järjestelmän säätötoimenpiteiden ansiosta voidaan kaikkiin asuntoihin taata rakentamismääräysten mukainen vähimmäisilmanvaihto kaikissa tilanteissa. Vanhoissa järjestelmissä esiintyvä veto vähenee tuloilman tullessa osittain hallitusti uusien tuloilmaikkunoiden kautta ja ilman lämmetessä ikkunalasien välissä. Ilman lämpeneminen myös vähentää rakennuksen energiankulutusta. Energiasäästöjä voidaan mahdollisesti saavuttaa myös puhallinsähkönkulutuksen vähenemisenä uuden ohjausyksikön ansiosta.

### 3.2 Keskeiset komponentit

Kuvassa 6 on esitetty järjestelmän keskeiset komponentit. Seuraavissa luvuissa käsitellään tarkemmin näiden komponenttien tekniikka ja toiminta sekä niiden osuus koko järjestelmän toimintaan.



Kuva 6. Keskeiset komponentit.

#### 3.2.1 Huippumuri

Huippumurin tehtävänä on tuottaa kanavistoon ilmanvaihdon käyttövoimana toimiva alipaine. Muutettaessa vanha koneellisen poiston järjestelmä vakiopaineohjatuksi järjestelmäksi voidaan vanha huippumuri jättää käyttöön, mikäli se on vielä toimintakuntoinen. Muutoksia tulee puhaltimen ohjaukseen, joka muutetaan portaattomasti säädettäväksi

taajuusmuuttajaohjaukseksi. Näin mahdollistetaan järjestelmän vakiopaineohjaus. Käsiteltävänä oleva järjestelmä on yhteensopiva kaikkiin poistopuhallinmalleihin, eikä sen asennus edellytä uutta kaapelointia huippuimureille tai poistopuhaltimille. Tämän mahdollistaa uudessa ohjausyksikössä vakiona oleva häiriönpisto ja suodatus.

Jos vanha poistoilmapuhallin ei ole toimintakuntoinen ja päädytään vaihtamaan se uuteen, tulee uuden huippuimurin valinnassa ottaa huomioon tarvittava kokonaispoistoilmavirta, kanaviston painehäviö, tehostuksen mahdollisuus ja vakiopaineohjauksen toimivuus. Valitun puhaltimen tulee siis tuottaa mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella perusilmanvaihdon tarvitsema poistoilmamäärä ja tarvittavan käyttövoiman tuottamiseksi vaadittava alipaine. Puhaltimen tulisi kyetä tuottamaan vähintään 30–60 Pa:n alipaine kanaviston viimeisellekin venttiilille (14). Lisäksi sen tulee olla tehostettavissa 30 %, ja puhallinkäyrän tulee mahdollistaa vakiopaineohjaus. Puhaltimen valinnassa tulee tarkastella myös sen äänentuottoa.

Uuden huippuimurin tai poistoilmapuhaltimen suoritusarvot valitaan vanhan puhaltimen tietojen mukaan. Kokemusperäisesti on havaittu, että siirryttäessä kaksinopeuksisesta puhaltimen ohjauksesta portaattomaan taajuusmuuttajaohjaukseen, voidaan valita hie-  
man aikaisempaa suurempi puhallin. Tällöin tehostusmahdollisuudet paranevat ja suurempaa puhallinta saadaan yleensä ajettua vakaasti myös pienemmillä kierroksilla. Jos halutaan parantaa tehostusmahdollisuuksia, tulee huomioida sen vaikutukset muuhun järjestelmään. Aiempaa suuremmat ilmavirrat vaativat korkeampaa kanavapainetta. Tällöin kanavistojen vuodot lisääntyvät, äänenkehitys kasvaa ja poistoilmalaitteiden kuten toimintapiste muuttuu. Ilmanvaihdon tehostaminen on mahdollista näiden muuttujien sallimissa rajoissa.

Järjestelmää varten on saatavilla räätälöityjä poistoilmapuhaltimia, joissa on säätölaitekeskus integroituna puhaltimen sisään.

### 3.2.2 Yhteiskanavisto ja päätelaitteet

Yhteiskanavistoa pitkin poistetaan ilmaa asunnoista. Saneerattaessa vanha ilmanvaihtojärjestelmä tässä työssä esitellyksi tuloilmaikkunoihin ja vakiopaineohjaukseen perustuvaksi järjestelmäksi jätetään rakennuksen vanha kanavisto käyttöön. Kanaviston puhdistus on kuitenkin asennuksen yhteydessä suositeltavaa ja sen tasapainotus välttämä-

töntä, jotta vakiopaineohjaus toimisi oikein. Kanaviston säätö ja tasapainotus taas edellyttävät säädettäviä poistoilmalaitteita. Jos vanhat päätelaitteet ovat säädettävissä, voidaan ne jättää käyttöön, muissa tapauksissa vanhat pääte-elimet vaihdetaan kartioventtiileihin. Kanaviston säädöstä ja tasapainotuksesta kerrotaan tarkemmin menetelmäosassa.

### 3.2.3 Ohjauslaitteet ja anturit

Luvussa 2.4 esiteltiin vanhojen koneellisen poiston järjestelmien tyypillisiä ongelmia. Todettiin, että ilmanvaihdon ohjauksessa ja rakennuksen painesuhteissa on runsaasti parantamisen varaa. Tässä työssä käsiteltävänä olevassa järjestelmässä on näihin ongelmiin vastattu siirtymällä vanhasta kaksinopeuksisesta puhaltimen ohjauksesta portaattomaan lämpötilakompensoituun vakiopaineohjaukseen.

Järjestelmän toimitukseen sisältyy seuraavat ohjauksen ja säädön kannalta oleelliset komponentit:

- säätölaitekeskus
  - teräskotelo
  - häiriösuodattimet
  - teholähde
  - kosketusnäytöllinen käyttöliittymä
  - liitynnät
  - taajuusmuuttaja
- painelähetin
- lämpötilalähetin.

Paineohjauksessa säätölaitekeskus pitää tarvittavan ilmamäärän mukaisen poistoilmakanavapaineen asetusarvossaan säätämällä puhaltimen moottoria portaattomasti taajuusmuuttajan avulla. Painelähetin lähettää jänniteviestillä tiedon vallitsevasta kanavapaineesta, ja säätölaitekeskus säätää taajuusmuuttajan avulla puhaltimen pyörimisnopeutta siten, että haluttu kanavapaine saavutetaan. Kanaviston alipaine määräytyy ulko-

lämpötilan mukaan ennalta asetetun puhaltimen ajokäyrästä perusteella. Lämpötilalähtetin mittaa ulkoilman lämpötilaa ja lähettää tiedon säätökeskukselle, joka antaa ajokäyrästä mukaisen asetusarvon kanaviston alipaineelle. Paineohjaus pyrkii kompensoimaan myös verkostossa tapahtuvia muutoksia, kuten ikkunaventtiilien sulkemista ja avaamista.

Mikäli rakennuksessa ei voida saavuttaa paineajon kannalta riittäviä painesuhteita (vähintään n. 5 Pa rakennuksen vaipan yli mitattuna) esimerkiksi heikon tiiviynen takia, voidaan järjestelmä muuttaa säädettäväksi kierrosnopeuden perusteella. Tällöin ajokäyrä muodostetaan kierrosnopeudesta ulkolämpötilan funktiona. Minimitilanteeseen talvella pyritään saamaan aikaan kierrosnopeus, jolla ilmanvaihtuvuus on 0,5 1/h. Ulkolämpötilan salliessa nostetaan kierrosnopeutta ja ilmanvaihto tehostuu.

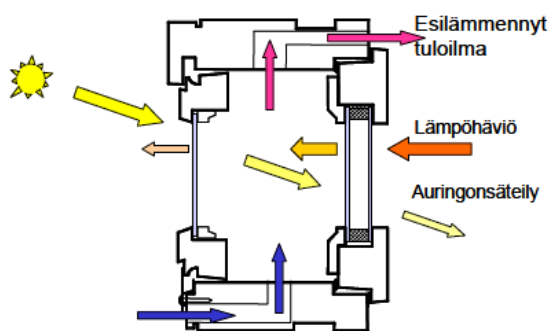
Markkinoilla olevissa tuloilmaikkunoihin perustuvissa järjestelmissä puhallinta voidaan tehostaa riippuen järjestelmätyypistä eri tavoilla. Kaikissa järjestelmätyypeissä on säätölaitekeskuksessa mahdollisuus tehostukseen järjestelmäkohtaisesti aikaohjelmalla ja kehittyneimmissä versioissa voidaan tehostaa puhallinta hiilidioksidipitoisuuden, ilman kosteuden ja VOC-pitoisuuden mukaan. Tällöin toimitukseen sisältyy myös edellä mainittuja pitoisuuksia mittaava anturi, jonka mittaukselle asetetaan raja-arvo säätökeskukseseen ja tämän arvon ylittyessä kytkeytyy tehostus päälle. Tulossa on myös tehostusmahdollisuus, jossa ohjelmallisesti saadun tiedon perusteella voidaan ilmanvaihdon tehoa muuttaa, kun ulkoilman ilmansaasteiden pitoisuus nousee yli sallitun raja-arvon.

Vakiopaineohjaus mahdollistaa myös huoneistokohtaisen tehostuksen. Tämä edellyttää kuitenkin huoneistokohtaisia tehostusläppiä esimerkiksi liesikuvun yhteyteen. Kun asukas avaa tehostusläpän, havaitsee järjestelmä paineen muutoksen kanavistossa ja tehostaa puhallinta.

### 3.2.4 Tuloilmaikkunat

Vanhojen järjestelmien suurimpia ongelmia on vedon tunne, joka edellä esitetyn perusteella johtuu suurelta osin korvausilman sisäänoton hallitsemattomuudesta. Tuloilmaikkunoiden avulla saadaan ulkoilma hallitusti ja esilämmitettynä huoneeseen. Samoin energiatehokkuus paranee tuloilmaikkunoita käytettäessä. Tarkemmin tuloilmaikkunan energiatehokkuutta käsitellään tutkimusosassa.

Tuloilmaikkunoiden toimintaperiaate on yksikertainen: Ulkoilma johdetaan ikkunan puitteiden väliseen tilaan, jossa ilma lämpenee huoneesta tulevien lämpöhäviöiden ja aurion säteilyn vaikutuksesta (kuva 7). Huoneeseen ilma johdetaan yleensä ikkunan yläkarmissa sijaitsevan korvausilmaventtiilin kautta. Korvausilmaventtiilin käyttö mahdollistaa ulkoilman suodatuksen, takaisinvirtauksen estämisen ja ilman virtauksen sulkemisen.



Kuva 7. Tuloilmaikkunan toimintaperiaate (15, s. 11).

Tuloilmaikkunan asennus ei poikkea millään tavalla tavallisen ikkunan asentamisesta. Tuloilmaikkunoihin perustuvien ilmanvaihtojärjestelmien yhteydessä on käytössä ainakin Pihlan ikkunamallit Varma, Thermo ja Hybridi sekä Tiivi-ikkunan mallit Uniikki 1+2 ja 1+3 sekä Optimi 1+2 ja 2+2. Ikkunaventtiilit valitaan tapauskohtaisesti, ja käytössä on ainakin tuotemerkkien Biobe ja DirAir ikkunaventtiileitä.

### 3.2.5 Eri ikkunaventtiilityypit

Tuloilmaikkunoiden yhteydessä käytetään ikkunaventtiileitä, joiden kautta tuloilma ohjataan huoneeseen. Venttiilityyppi valitaan tapauskohtaisesti. Tuloilmaikkunoihin perustuvien ilmanvaihtojärjestelmien yhteydessä on käytössä muun muassa Bioben tuloilmaikkunan venttiilit ThermoPlus ja AutoThermo sekä DirAirin Kameleontti-tuloilmaikkunaventtiili. Ikkunaventtiilien leveys on yleensä joko 400 mm tai 600 mm. Valmistajien taulukoista voidaan lukea venttiilistä saatava ilmamäärä suunnitellulla paine-erolla.

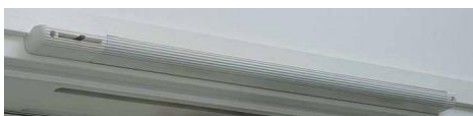
#### Biobe ThermoPlus

Biobe ThermoPlus -venttiilit asennetaan ikkunan yläkarmiin. Kesäasennossa ilma ohjataan suoraan huonetilaan. Talviasennossa sisään tuleva ilma esilämpenee ikkunalasien

välissä. ThermoPlus -venttiilissä vakiona oleva takaiskuventtiili reagoi ilmapvirtaukseen ja sulkeutuu takaisinvirtaustilanteessa esimerkiksi kovan tuulen johdosta.

Kesä- ja talviasentoa säädetään venttiilin säätövivulla. Sekä kesä- että talviasennossa ilmamäärät ovat portaattomasti säädettävissä. Venttiilin voi myös sulkea. Biobe ThermoPlus -tuloilmaikkunan venttiilissä on vakiona kesä- ja talviasennoissa 3M:n kennomainen elektrostaattinen allergeenisuodatin.

Biobe ThermoPlus-venttiili ja ulkosäleikkö valmistetaan säänkestävästä alumiinista. Venttiilissä oleva äänenvaimenninkasetti on valmistettu pakkasen kestävästä muovista. Vaimenninmateriaali on erikoisvalmisteista polyesterihuopaa. Biobe ThermoPlus -venttiiliä saa sekä 400 mm:n että 600 mm:n levyisenä. (16).



Kuva 8. ThermoPlus -ikkunaventtiili (16).

#### Biobe AutoThermo

AutoThermo tuloilmaikkunan ikkunaventtiilissä ilman sisäänotto tapahtuu karmin yläosasta. Lämmityskaudella korvausilma kiertää ikkunalasien välissä esilämmittäen korvausilmaa. Kesäkaudella korvausilma ohjataan suoraan huonetilaan. AutoThermo -korvausilmaventtiiliratkaisussa on termostaatti, joka tunnistaa sisään tulevan ilman ja ikkunavälin lämpötiloja ja ohjaa venttiilin toimintaa automaattisesti. Ratkaisussa korvausilman reititys ikkunarakenteessa säätyy portaattomasti kesä- ja talviasennon välillä.

Venttiilin kautta sisään otettava korvausilma suodatetaan sähköisesti varautuvalla suodattimella ja venttiili on varustettu takaiskuläpällä, joka estää ilman takaisinvirtauksen. Äänenvaimennus tapahtuu äänenvaimennuskasetilla. Huonetilassa oleva venttiiliyksikkö suuntaa korvausilman huoneen yläosaan, jossa se sekoittuu lämpimään sisäilmaan.

Venttiiliratkaisu soveltuu vakiona kaikkiin ikkunatyyppeihin, joiden puiteväli on vähintään 48 mm. Mikäli puiteväli on kapeampi, ikkunaväliin johtavan ulkoilmakanavan jysintä toteutetaan poikkeuksellisesti sivukarmiin. AutoThermo -ikkunaventtiiliä on saatavilla 400 mm:n ja 600 mm:n levyisinä. (17)



Kuva 9. Biobe AutoThermo -ikkunaventtiili ja automaattinen termostaattiosa (17).

### DirAir Kameleontti

Kameleontti-venttiili voidaan asentaa tuloilmaikkunaan tehdasasennuksena kolmella eri tavalla:

- ilmanotto termisellä suodatinpalkilla yläkarmista
- ilmanotto suodatinkotelolla sivukarmista
- ilmanotto suodatinkotelolla alakarmista.

Suodatinkotelo tai terminen suodatinpalkki asennetaan ikkunan välitilaan. Myös jälki-asennus vanhaan ikkunaan on mahdollinen.

DirAirin Kameleontti-tuloilmaikkunaventtiili on varustettu sulk- ja säätömekanismilla, joka mahdollistaa venttiilin sulkemisen, ilmasuihkun säätämisen sivusuunnassa ja ilma-  
raon säätämisen lineaarisesti välillä kiinni-auki. Venttiilissä on takaisinvirtauksen estävä takaiskuventtiili. Kameleontti-venttiili voidaan varustaa myös sähköisesti varatulla ken-  
nosuodattimella. Suodattimen vaihtoa varten on venttiili irrotettavissa ilman työkaluja.

DirAirin Kameleontti-venttiilissä on sekä kesä- että talviasento. Kesäasennossa ilma ote-  
taan suoraan sisään ja talviasennossa kierrätetään ikkunalasien välissä, jolloin ilma esi-  
lämpenee. Asentoa muutetaan säätövipua säätämällä. Kameleontti-venttiiliin on saata-  
villa myös automaattisesti ulkolämpötilan huomioiva lisävaruste. (18.)





Kuva 10. Kameleontti-ikkunaventtiili (18).

### 3.3 Järjestelmävaihtoehdot

Inwido Finland Oy:n Invent-järjestelmät perustuvat korvausilman sisäänottoon tuloilmaikkunoilla ja lämpötilakompensoituun vakiopaineohjaukseen. Peruskomponenttien lisäksi on Invent-järjestelmiin saatavilla useita toiminnallisia lisäosia. Seuraavasta pikavalintataulukosta näkyy eri järjestelmät ja niiden sisältö.

Taulukko 3. Pikavalintataulukko Inwido Finland Oy:n erilaisille poistoilmajärjestelmille.

		PCE II	INVENT MK1	INVENT MK2	INVENT MK3
Käyttömoodit	Kierrosajo	X	X	X	X
	Paineajo	X	X	X	X
	IV-kerroinajo				X
	Hälytykset (paik.)	X	X	X	X
Tehostukset	Kello	X	X	X	X
	CO2				X
	RH %				X
	VOC				X
Yhteydet	Ilmansaasteet			X	X
	GSM	X (optio)		X	X
	INTERNET	X (optio)		X(optio)	X
	Hälytykset (siirt.)	X (optio)		X	X

Inwidon järjestelmät PCE II sekä Invent Mk2 ja Mk3 ovat käytettävissä yksinkertaisen kosketusnäytöllisen käyttöliittymän kautta. Ohjauspaneeli sijaitsee joko säätölaitekeskuksen yhteydessä tai uusissa Invent-puhaltimissa integroituna puhaltimen kylkeen. Käyttöliittymän kautta voidaan tarkastella puhaltimen toiminnan tilaa, muuttaa asetuksia kuten ajokäyrää, asettaa aikaohjelmia, ajaa puhallinta manuaalisesti muuttamalla taa-

juusmuuttajan taajuutta ja hallinnoida hälytyksiä sekä yhteyksiä. Käyttöliittymän uusimassa versiossa voidaan tarkastella myös järjestelmän energiankulutuksen ja toteutuneen ilmanvaihtokertoimen trendejä.

Järjestelmiin on saatavilla taulukon 3 mukaiset yhteydet. Internet-yhteydellä varustetuissa malleissa voidaan kaikki toimenpiteet tehdä etäohjauksena tietokoneella. Etäyhteyden avulla voidaan myös tallentaa dataa esimerkiksi energiankulutuksesta.

### 3.4 Suunnittelu

Rakennusprosessiin, myös korjausrakentamiseen, kuuluu oleellisena osana suunnitteluvaihe. Ilmanvaihdon parantamisen onnistunut toteutus vaatii myös suunnittelua. Kun vanha koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä saneerataan tässä työssä esitellyksi järjestelmäksi, suunnitteluun sisältyvät ainakin seuraavat asiat:

- ilmamäärien tarkistus tai määrittäminen
- painetasojen määrittäminen
- puhaltimen ajokäyrän määrittäminen
- säädön toiminnan suunnittelu
- ikkunaventtiilien määrä ja sijainti
- siirtoilmareitit.

#### 3.4.1 Ilmamäärät

Jos rakennuksesta on olemassa vanhat ilmanvaihtosuunnitelmat, tarkistetaan toteutuuko asunnoissa 0,5-kertainen ilmanvaihto. Jos tämä toteutuu, voidaan vanhoja ilmamääriä käyttää jatkossakin. Jos ilmanvaihto ei ole riittävä tai vanhoja suunnitelmia ei ole saatavilla, määritetään ilmamäärät siten, että haluttu tavoitetaso saavutetaan. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 määrää, että oleskelutiloihin on käyttöaikana johdettava terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilman laadun takaava ulkoilmavirta. Lisäksi D2 ohjeistaa, että ulkoilmavirtojen mitoittamiseen käytetään ensisijaisesti tilakoh-  
taisia ohjeistoja ja että ilmavirta määräytyy ensisijaisesti henkilöperusteen mukaan. Yleensä ulkoilmavirran tulee kuitenkin olla vähintään  $0,35 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$ , joka vastaa ilman-

vaihtokerrointa 0,5 1/h huoneessa, jonka vapaa korkeus on 2,5 m. Huonekohtaisia poistoilmamääriä on annettu D2:n liitteessä 1. Nämä arvot toimivat hyvänä apuna ilmamääriä suunniteltaessa, mutta on kuitenkin muistettava, että D2:n määräykset ja ohjeet koskevat uudisrakennusta ja että rakennuksen on täytettävä ne määräykset, jotka ovat olleet voimassa rakennusta rakennettaessa. D2:n taulukon arvoja tulee siis soveltaa järkevästi. Taulukon ohjearvoja käytettäessä on suuri merkitys sillä, onko järjestelmä tehostettavissa järjestelmäkohtaisesti vai huoneistokohtaisesti. Ajatus on, että jos asukas voi tarpeen mukaan lisätä ilmanvaihtoa, ei perusilmanvaihdon tarvitse olla niin suuri. Käytettäessä taulukon arvoja saavutetaan yleensä pienissä asunnoissa herkästi liian suuri ilmanvaihto ja suurissa taas liian pieni. Tähän on esitetty ratkaisuksi, että pienten asuntojen poistoilmavirrat mitoitetetaan yleensä ohjearvoja pienemmiksi siten, että huoneiston käyttäjän ilmanvaihtokerroin on enintään 0,7 1/h, jos poistoilmavirran tehostusta voidaan ohjata tila- tai asuntokohtaisesti tarpeen mukaan. Jos poistoilmavirran tehostusta voidaan ohjata vain rakennuskohtaisesti, voidaan pienten asuntojen poistoilmavirrat mitoittaa ohjearvoja pienemmiksi siten, että huoneiston ilmanvaihtokerroin on vähintään 1,0. Suurten asuntojen poistoilmavirrat mitoitetetaan yleensä ohjearvoja suuremmiksi, jotta huoneiston ilmanvaihtokerroin olisi vähintään 0,5 1/h. Yksinkertaisimmillaan ilmamäärien suunnittelussa on kysymys tavoitetaso määrittämisestä ja optimoinnista.

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ulkoilmavirta määräytyy poistoilmamäärien mukaan. Se määrä ilmaa, joka imetään rakennuksesta, otetaan korvausilmana joko vuotoina tai hallitusti. Tilakohtaisiin ulkoilmavirtoihin ei siis kovinkaan paljoa voida vaikuttaa, mutta korvausilmaventtiilien sijoittelulla ja oikeanlaisilla kokovalinnoilla sekä siirtoilmareittien suunnittelulla voidaan päästä hyvään lopputulokseen.

Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän saneerauksen suunnittelussa ilmamäärien valinnan lähtökohtana on vanhan järjestelmän tila. Uuden ohjauksen ja kanaviston perussäädön sekä tasapainotuksen ansiosta voidaan kuitenkin vanhan järjestelmän ominaisuuksien sallimissa rajoissa päättää, lähdetäänkö perusilmanvaihdossa tavoittelemaan määräysten ehdotonta minimitasoa vai halutaanko ilmanvaihdosta aiempaa tehokkaampi. Tavoitetasoa määritettäessä tulee miettiä myös sen vaikutuksia energian kulu- tukseen. Tehokkaampi ilmanvaihto vie enemmän energiaa, mutta toisaalta uusilla tuloilmaikkunoilla ja uudella ohjauksella saavutetaan energiasäästöjä, joilla tätä voidaan kompensoida. Sisäilman laatu taas paranee huomattavasti suuremmilla ilmamäärillä. Jos tavoitteena on lisätä ilmanvaihdon määrää, tulee huomioida suurempien ilmamäärien vaikutus koko järjestelmään. Asioita, joihin suuremmat ilmamäärät vaikuttavat, on käsitelty

luvussa 3.2.1. Valittaessa ilmanvaihdon minimitaso pysyy ilmanvaihdon määrä entisellään, mutta sisäilman laatu paranee uusien korvausilmajärjestelyjen vuoksi.

Seuraavassa taulukoissa on esitetty esimerkit ilmamääristä, joilla erikokoisissa huoneistoissa toteutuu ilmanvaihto 0,5 1/h. Lisäksi on esitetty D2:n liitteen 1 mukaiset huonekohtaisten poistoilmamäärien ohjearvot ja ilmanvaihtokerroin, jonka niiden mukainen ilmanvaihto saa asunnossa aikaiseksi. Esimerkeissä on puolikertaisen ilmanvaihdon kohdalla poistoilmamäärät jaettu likaisten tilojen kesken niiden toiminnollisuuden mukaan, jolloin keittiön epäpuhtauslähteiden on arvioitu olevan suurin ilmanvaihdon tarvitsija ja pesuhuoneen kosteuskuormien toiseksi suurin. Ohjearvot on valittu tilanteeseen, jossa ilmanvaihto ei ole huoneistokohtaisesti tehostettavissa. On huomioitava, etteivät kaikki taulukossa esitetyt arvot ole käypiä suunnitteluratkaisuja, vaan taulukossa on esitetty, minkälaisiin ilmamääriin ja ilmanvaihtokertoimiin erikokoisissa asunnoissa päädytään. Huoneistokohtaiset ilmamäärät tuleekin arvioida aina tapauskohtaisesti.

Taulukko 4. Esimerkit ilmamääristä, joilla erikokoisissa asunnoissa toteutuu 0,5 1/h ilmanvaihto ja Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 liitteen 1 mukaiset poistoilmamäärien ohjearvot eri tiloille ja niillä toteutuva ilmanvaihtokerroin.

1H+K				
neliöt (m <sup>2</sup> )	35	0,5 1/h tarvittava poisto-		
korkeus (m)	2,5	ilmamäärä (l/s) 12		
tilavuus (m <sup>3</sup> )	87,5			
	PH	K	poisto	ilmanvaihtokerroin
0,5 1/h	6	6	12	0,5
ohjearvot	15	20	35	1,44
2H+K				
neliöt (m <sup>2</sup> )	63	0,5 1/h tarvittava poisto-		
korkeus (m)	2,5	ilmamäärä (l/s) 22		
tilavuus (m <sup>3</sup> )	158			
	PH	K	poisto	ilmanvaihtokerroin
0,5 1/h	10	12	22	0,50
ohjearvot	15	20	35	0,80
3H+K				
neliöt (m <sup>2</sup> )	75	0,5 1/h tarvittava poisto-		
korkeus (m)	2,5	ilmamäärä (l/s) 26		
tilavuus (m <sup>3</sup> )	188			
	PH	K	poisto	ilmanvaihtokerroin
0,5 1/h	11	15	26	0,50
ohjearvot	15	20	35	0,67
4H+K				
neliöt (m <sup>2</sup> )	110	0,5 1/h tarvittava poisto-		
korkeus (m)	2,5	ilmamäärä (l/s) 38		
tilavuus (m <sup>3</sup> )	275			
	PH	K	poisto	ilmanvaihtokerroin
0,5 1/h	15	23	38	0,50
ohjearvot	15	20	35	0,46

Taulukosta 4 havaitaan, että yksiössä puolikertainen ilmanvaihto saavutetaan jo pienehköillä ilmamäärillä. Jos arvioidaan yksiössä asuvan kaksi henkilöä, näyttäisi henkilöperusteinen ulkoilmavirta 6 l/s täyttyvän. Tässä tapauksessa tulisi kuitenkin arvioida ilmanvaihdon riittävyys käryjen ja kosteuden poistamiseen keittiöstä ja pesuhuoneesta. Valittaessa ohjearvoja pienempiä ilmamääriä on syytä huomioida D2:n ohje pienten asuntojen ilmamäärien pienentämisestä. Samoin havaitaan, että isommissa asunnoissa saatavat huonekohtaiset ohjeelliset ilmamäärät johtaa alle 0,5:n ilmanvaihtokertoimeen. Tällöin ohjearvot joudutaan ylittämään, jotta ilmanvaihto olisi minimitason mukainen.

Ilmamääriä suunniteltaessa tulee myös huomioida, että rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan tulee ilmavirrat olla tehostettavissa 30 %. Tehostus voidaan hoitaa esimerkiksi yhteiskanavistoon liitettyllä huuvalalla, jossa on manuaalinen tehostuspelti. Jos rakennuksessa ei ole huoneistokohtaista tehostusmahdollisuutta, voidaan tehostus hoitaa kello-ohjauksella.

#### 3.4.2 Ikkunaventtiilit ja tiiviys

Kuten edellä on esitetty, on rakennuksen tiiviys oleellisessa roolissa koneellista poistoilmanvaihtoa suunniteltaessa ja korjattaessa. Erityisen paljon tiiviys vaikuttaa rakennuksen painesuhteisiin ja korvausilman sisäänottoon. Tästä johtuen tiiviys on ratkaisevassa roolissa asuntokohtaisessa suunnittelussa ja ikkunaventtiilien määrän valinnassa.

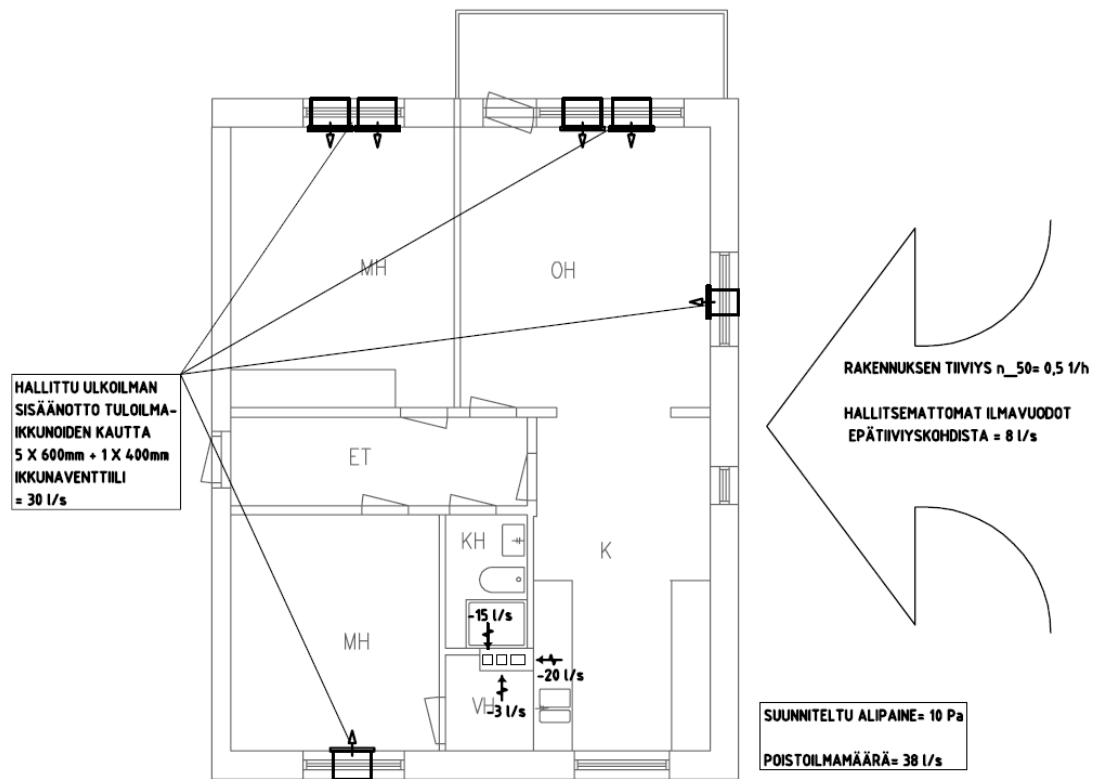
Koneellisen poistoilmanvaihdon peruseräkkeiden mukaan ilmaa poistetaan likaisista tiloista ja raitista ilmaa johdetaan oleskelutiloihin. Suunniteltaessa koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän perusparannusta tuloilmaikkunoihin perustuvalla järjestelmällä tulisi jokaiseen asuinhuoneeseen (makuuhuone, olohuone) suunnitella vähintään yksi ikkunaventtiilillä varustettu tuloilmaikkuna. Ikkunaventtiilien määrän ja koon ratkaisee asunnon tiiviys ja valitut painesuhteet. Kokemusperäisesti on havaittu, että järjestelmien suunnittelussa olisi hyvä pyrkiä asuntojen perusilmanvaihdossa vähintään 5–8 Pa:n alipaineisuuteen ja tehostuksella vähintään 10–16 Pa:n alipaineisuuteen. Mikäli alipaineisuus laskee alle 5 Pa, ei ilmanvaihto enää ole hallittua sääolosuhteiden vaihdellessa. Esimerkiksi voimakas tuuli saattaa jo näiden suositusten alarajoilla häiritä ilmanvaihdon toimintaa. Jos alipaineisuus taas kasvaa suosituksia suuremmaksi, on haittana hallisemattomien ilmapuotojen lisääntyminen ja ilmanvaihdon pysyvyyden kasvaminen etenkin hatarissa rakennuksissa. Ilmanvaihdon pysyvyys kuvaa

sitä, kuinka suuren osan ajasta ilmanvaihto on suunnitteluarvon mukainen. Pysyvyyden kasvaessa yli yhden vaihdetaan ilmaa tarpeettomasti ja näin tuhlataan energiaa. Tuloilmaikkunoihin perustuvien järjestelmien suunnittelussa onkin tärkeää, että perusilmanvaihto toteutuisi mahdollisimman tarkasti minimitalanteessa.

Seuraava kuvasarja esittää, miten huoneiston tiiviys ja painesuhteet vaikuttavat ilmanvaihtoon ja ikkunaventtiilien määrään. Esimerkkihuneistona on tyypillinen koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetun asuinkerrostalon 3H + K huoneisto, jonka pinta-ala on  $75 \text{ m}^2$  ja tilavuus  $187,5 \text{ m}^3$ . Tarkastelussa on huomioitu vain rakennuksen vaipan vuoto ja oletettu rakennuksen sisäiset vuodot vähäisiksi. Tämä edellyttää käytännössä asunnon porrashuoneeseen johtavan oven ja esimerkiksi postiluukun hyvää tiivistämistä. Kuvasarjan pohjalla oleva tarkempi laskenta on esitetty liitteessä 3.

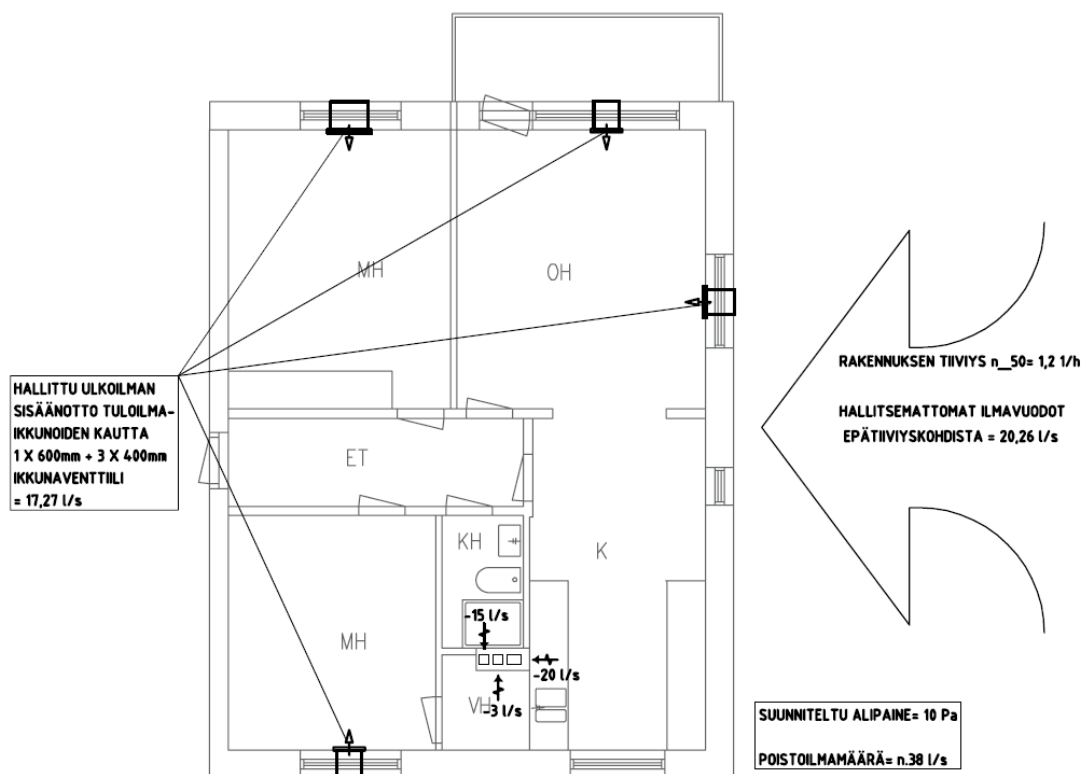
Kun rakennus on tiivis, ovat sen painesuhteet helposti hallittavissa. Kuvan 11 tapauksessa huoneiston perusilmanvaihto toteutuu kuvan mukaisilla poistoilmamäärillä. Asunnon ja ulkoilman väliseksi paine-eroksi on suunniteltu 10 Pa, jolloin ulkoisten olosuhteiden vaikutuksen ilmanvaihdon toimintaan arvioidaan olevan vähäinen. Jos rakennuksen sijainti olisi suojaisempi, olisi painetasoa mahdollisesti voitu laskea. Avoimemmalla paikalla taas alipaineisuuden tulisi todennäköisesti olla suurempi, jotta ilmanvaihto olisi hallittua. Suunnitellun alipaineisuuden perusteella on voitu laskea 10 Pa:n alipaineella tiiviissä rakennuksessa tapahtuvat ilmavuodot ja havaittu, että tiiviiden ollessa  $0,5 \text{ l/h}$  on hallitsemattomien ilmavuotojen osuus ilmanvaihtuvuudesta 8 l/s. Asuntoon valittujen ikkunaventtiilien ominaisuuksista on voitu laskea, että 10 Pa:n paine-erolla yhden 600 mm:n ikkunaventtiilin kautta saadaan talvitilanteessa noin 5,3 l/s ulkoilmaa ja 400 mm:n ikkunaventtiilin kautta noin 4 l/s. Jotta tarvittava korvausilmamäärä saadaan huoneistoon, on suunnittelussa valittu  $5 \cdot 600 \text{ mm} + 1 \cdot 400 \text{ mm}$  ikkunaventtiilit ja sijoitettu ne kuvan 11 mukaisesti. Havaitaan, että tiiviissä rakennuksessa tarvitaan paljon ikkunaventtiileitä, jotta tarvittava korvausilma saadaan

rakennukseen. Jotta ikkunaventtiilien määrä ei kasvaisi liian suureksi, olisi tässä tapauksessa ehkä hyvä lisätä rakennuksen alipaineisuutta ja näin vähentää korvausilmaventtiilien määrää.



Kuva 11. Tiiviissä rakennuksessa saadaan painesuhteet ja korvausilman sisäänotto hyvin hallintaan. Kuvan esimerkkihuoneistossa 3H + K (75 m<sup>2</sup>, 187,5 m<sup>3</sup>) on perusilmavaihdon vaatimilla ilmavirroilla suunniteltu korvausilman hallittu sisäänotto viidellä 600 mm:n ja yhdellä 400 mm:n ikkunaventtiilillä. Asunnon alipaineisuudeksi on suunniteltu 10 Pa. Tällöin ilmanvaihto on vakaa ja hallitsemattomat ilmapuodot ovat 8 l/s.

Jos huoneiston tiiviys on heikompi, kasvaa hallitsemattoman vuotoilman osuus. Tällöin ei voida asentaa yhtä paljoa ikkunaventtiileitä, jotta suunniteltu alipaine huoneistossa pysyisi. Kuvassa 12 on esimerkkihuoneiston tiiviys 1,2 1/h, jolloin suunnitellulla 10 Pa:n alipaineisuudella hallitsematon vuotoilmanvaihto on hieman yli 20 l/s, siis yli puolet asunnon korvausilman sisäänotosta. Näin ollen on suunnittelussa valittu 1 \* 600 mm ja 3 \* 400 mm ikkunaventtiili, jolloin hallitusti tuloilmaikkunoiden kautta saadaan lähes 18 l/s korvausilmaa. Tässäkin tapauksessa on ilmanvaihto hallittu, eivätkä ulkoiset olosuhteet vaikuta juurikaan ilmanvaihdon toimintaan. Vedon riski hieman kasvaa vuotoilman osuuden lisääntyessä.

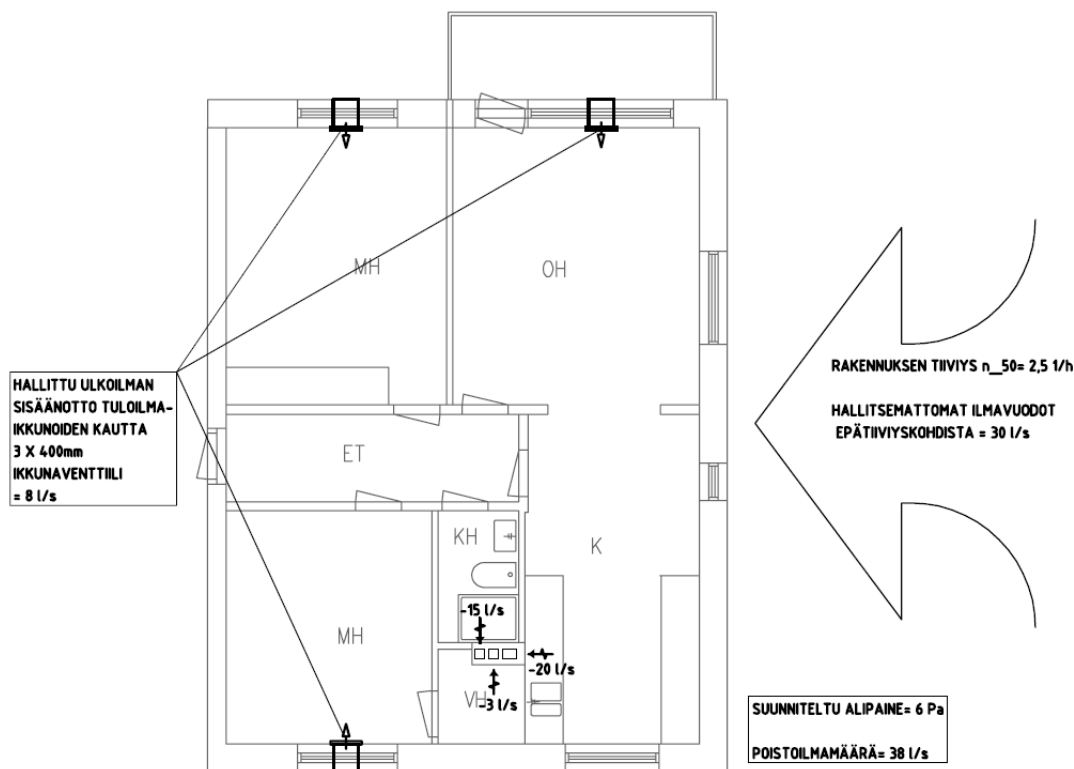


Kuva 12. Verrattuna kuvan 11 tapaukseen, on tässä esimerkissä rakennuksen tiiviys heikempi, 1,2 1/h. Esimerkkihuneistossa 3H + K (75 m<sup>2</sup>, 187,5 m<sup>3</sup>) on perusilmanvaihdon vaatimilla ilmavirroilla suunniteltu korvausilman hallittu sisäänotto yhdellä 600 mm:n ja kolmella 400 mm:n ikkunaventtiilillä. Asunnon alipaineisuudeksi on suunniteltu 10 Pa. Tällöin hallitsemattomat ilmapuodot ovat hieman yli 20 l/s, ja hallitusti ikkunaventtiilien kautta saadaan lähes 18 l/s ulkoilmaa.

Kun huoneiston tiiviys edelleen heikkenee, ei asunnossa voida enää ylläpitää niin suurta alipainetta kuin tiiviissä rakennuksessa. Tällöin järjestelmä on alttiimpi ulkoisille vaikutuksille, esimerkiksi tuulelle. Korvausilma saadaan kuitenkin osittain edelleen hallitusti tuloilmaikkunoiden kautta ja vedon tunne vähenee. Samalla saavutetaan energiasäästöjä tuloilman lämmitessä ikkunalasien välissä. Kuvassa 13 on rakennuksen tiiviys 2,5 1/h, ja tällöin hallitsemattomat ilmapuodot olisivat 10 Pa:in alipaineella yli perusilmanvaihdon tarpeen. Tästä syystä on suunnittelussa alipaineisuutta pienennetty kuuteen Pascaliin, mikä alkaa olemaan ilmanvaihdon toiminnan kannalta lähes alipaineisuuden alarajoilla. Tällöin on hallitsemattomien ilmapuotojen osuus korvausilmasta 30 l/s ja 400 mm:n ikkunaventtiilin kautta saadaan hieman alle 3 l/s ulkoilmaa. Ilmanjaon vuoksi on suunniteltu yksi ikkunaventtiili jokaiseen asuinhuoneeseen, jolloin hallittu korvausil-



man sisäänotto on noin 8 l/ s. Tällä järjestelyllä taataan edelleen perusilmanvaihto kaikissa tilanteissa ja vähennetään vedon tunnetta. Jos ikkunaventtiilit ovat hyvin suljetuissa, voidaan huoneiston alipaineisuutta myös tarvittaessa lisätä sulkemalla venttiileitä.



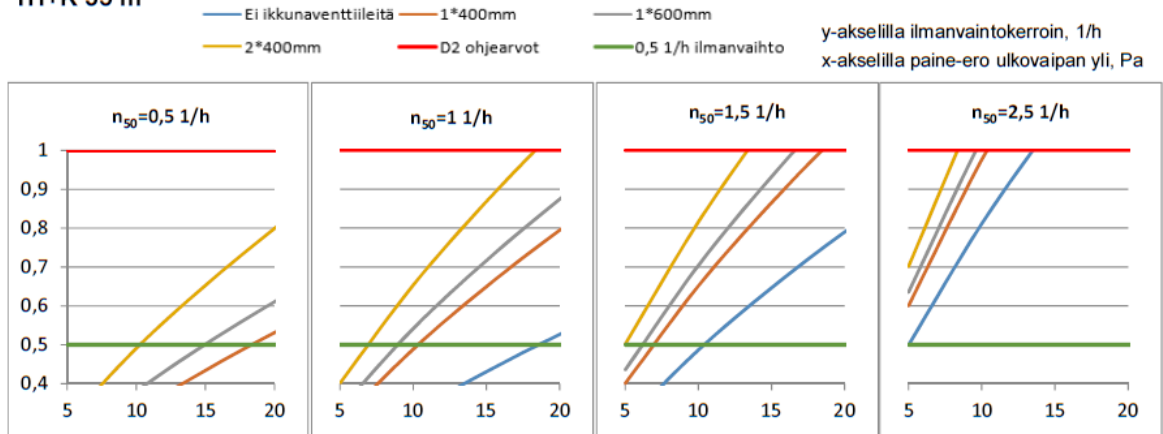
Kuva 13. Huoneiston tiiviyn huonotessa riittävästi, ei voida enää ylläpitää niin suurta alipainetta kuin tiiviissä huoneistossa. Tällöin joudutaan alipaineisuutta vähentämään, jolloin järjestelmä on alttiimpi ulkoisille vaikutuksille. Edelleen kuitenkin ilmanjako paranee ja vedon tunne vähenee. Esimerkkihuoneiston 3H + K (75 m<sup>2</sup>, 187,5 m<sup>3</sup>) tiiviys on kuvan tapauksessa 2,5 l/h ja suunniteltu alipaineisuus 6 Pa. Tällöin hallitsemattomat ilmavuodot ovat 30 l/s, ja hallitusti kolmen 400 mm:n ikkunaventtiilien kautta saadaan 8 l/s ulkoilmaa.

Kun rakennuksen tiiviys on riittävän huono, ei paineajo toimi toivotulla tavalla. Tällöin on mahdollista käyttää kierrosajoa, jolloin puhaltimen ajokäyrä muodostetaan kierrosnopeudesta ulkolämpötilan funktiona. Tällöin pyritään saamaan aikaan kierrosnopeus, jolla vähimmäisilmanvaihto saavutetaan minimitalanteessa ja ulkolämpötilan nousun salliessa voidaan kierrosnopeutta kasvattamalla parantaa ilmanvaihtoa.

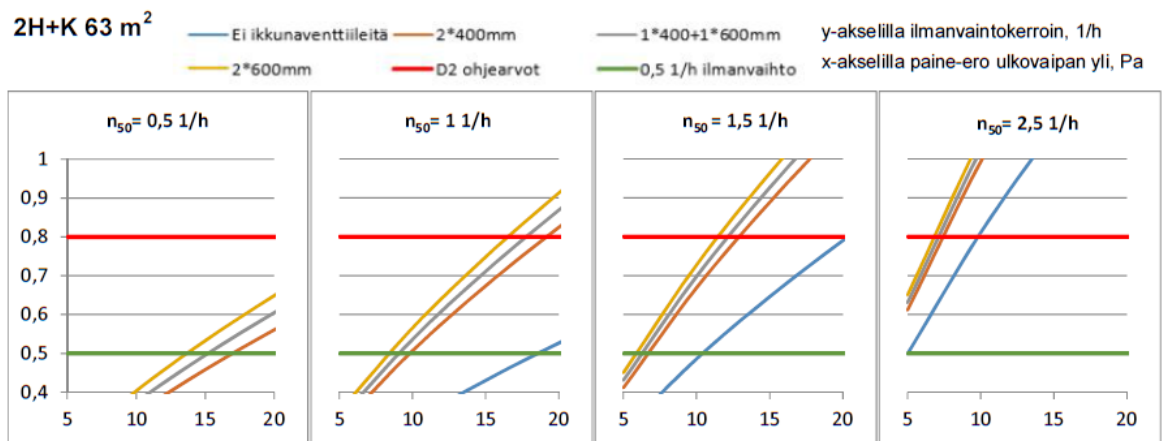
Kuvassa 14 on esitetty, kuinka erikokoisissa huoneistoissa huoneiston tiiviys ja ikkunaventtiilien määrä sekä paine-ero vaipan yli riippuvat toisistaan. Kuvan pohjalla oleva laskenta perustuu liitteen 3 kaavoihin. Perusperiaatteena on pidetty, että jokaisessa

asuinhuoneessa tulee olla vähintään yksi tuloilmaikkuna. Samalla on tarkasteltu tilannetta, jossa korvausilma tulee kokonaan vuotoina.

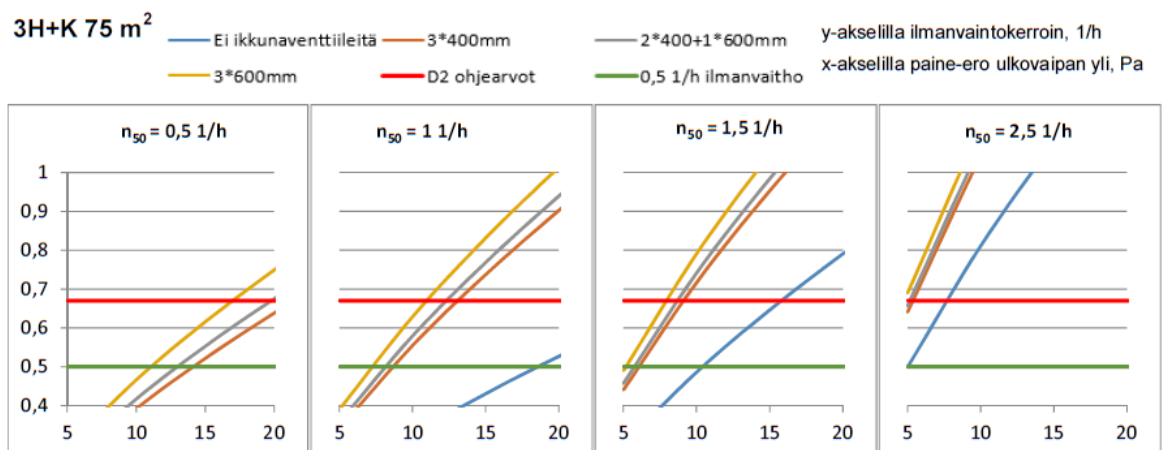
### 1H+K 35 m<sup>2</sup>



### 2H+K 63 m<sup>2</sup>



### 3H+K 75 m<sup>2</sup>



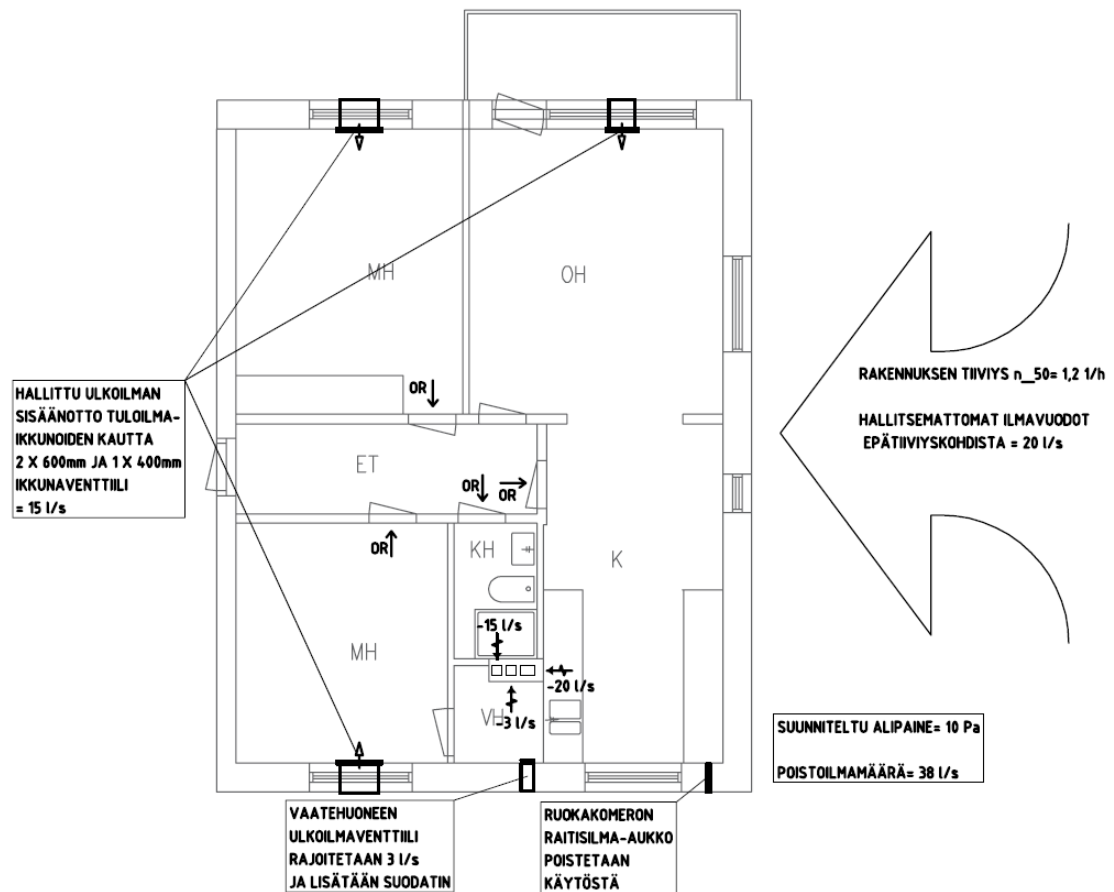
Kuva 14. Ikkunaventtiilien määrän, rakennuksen tiiviyyden, huoneiston koon ja vaipan yli vallitsevan paine-eron väliset riippuvuudet.

Kuvassa 14 eri korvausilmaratkaisut on laskettu kuvitteellisella tuloilmaikkunalla, jonka virtaustekniset ominaisuudet ovat liitteen 3 taulukon 1 mukaiset. Käyriltä voidaan lukea, kuinka suuren ilmanvaihtuvuuden tietty huoneiston alipaineisuus saa asunnossa aikaiseksi käyrän mukaisilla ikkunaventtiilien määrillä. Jokaiseen korvausilmakäyrään sisältyy myös vuotoilmanvaihto. Rakennuksen sisäisen tiiviyn ja ulkoisten olosuhteiden vaikutuksia ei ole tarkasteltu. Kuvassa on esitetty punaisella vaakaviivalla ilmanvaihtokerroin, johon kyseisen kokoisessa asunnossa päädytään rakentamismääräyskokoelman osan D2 tilakohtaisilla ohjearvoilla. Vihreällä vaakaviivalla on merkattu 0,5 -kertainen ilmanvaihtuvuus. Ilmanvaihtokertoimien laskenta perustuu taulukkoon 3. Yksiön kohdalla on otettu huomioon D2:n ohje pienen asunnon ohjeilmavirtojen pienentämisestä ilmanvaihtokertoimen kasvaessa liian suureksi.

#### 3.4.3 Siirtoilmareitit ja vanhat korvausilmaventtiilit

Jotta ilma siirtyisi rakennuksessa hallitusti, tulee siirtoilmareittien olla suunniteltuja. Yleisesti koneellisen poistoilmanvaihdon yhteydessä asuntorakentamisessa siirtoilmareitteinä käytetään ovirakoja. Myös erilliset siirtoilmasäleiköt ovat mahdollisia. Tavoitteena on saada ilma virtaamaan puhtaista tiloista likaisiin päin. Tämä toteutuu, kun korvausilma tuodaan edellä esitetyn mukaisesti makuu- ja olohuoneisiin ja siirretään esimerkiksi ovirakojen kautta poistettavaksi keittiöstä, pesuhuoneesta ja wc-tiloista.

Teoriaosassa käsiteltiin vanhoja koneellisen poiston järjestelmiä ja todettiin, että vanhoissa järjestelmissä korvausilma otettiin tyypillisesti rakennuksen epätiiviyyskohdista. Muita ratkaisuja olivat erilaiset ulkoilmaventtiilit, joiden kautta ilmaa otettiin rakennukseen. Vanhemmissa taloissa ruokakomeroon tuli raitisilma-aukko suoraan ulkoa, joka viilensi komeroa. Nämä vanhat korvausilmajärjestelyt tulee aina ottaa huomioon suunniteltaessa järjestelmän saneerausta (kuva 15).



Kuva 15. Esimerkkihuoneistoon 3H + K (75 m<sup>2</sup>, 187,5 m<sup>3</sup>) suunniteltu ratkaisu, jossa siirtoilmareitit ja vanhat korvausilmareitit on huomioitu.

Kuvassa 15 on esitetty suunnitelma, jossa siirtoilmareitit ja vanhat korvausilma ratkaisut on huomioitu. Toinen mahdollinen ratkaisu olisi poistaa vaatehuoneen ulkoilmaventtiili käytöstä ja lisätä ovirako vaatehuoneen oveen. Tällöin ratkaisu olisi muilta osin esimerkiksi kuvan 12 mukainen.

#### 3.4.4 Ilmanvaihdon ajokäyrät

Vakiopaineohjatuissa ja lämpötilakompensoiduissa järjestelmissä puhallinta ohjataan ulkolämpötila-kanavapaine ajokäyrän avulla. Ajokäyrät muodostetaan rakennuskohtaisesti perusilmanvaihdon (0,5 1/h, määräysten mukainen minimi) ja tehostukselle (0,5 1/h \* 1,3). Tarvittaessa voidaan ajokäyriä säätää siten, että termisen paine-eron vaikutus ulkolämpötilan laskiessa voidaan kompensoida nostamalla tällöin ajopainetta. Erilaisilla ohjauksilla valitaan, kumpaa ajokäyriä milläkin hetkellä noudatetaan.

Jotta nykymääräykset toteutusivat tarkasti, tulisi asuinrakennuksissa ylläpitää jatkuvasti perusilmanvaihdon mukainen ilmanvaihto ja tehostusmahdollisuuden tulisi toteutua kaikissa olosuhteissa. Kuten teoriaosassa on mainittu, on vanhoissa asuinkerrostaloissa tulkittu vuoden 1978 rakentamismääräyksissä esitettyä ilmavirtojen puolitushmahdollisuutta siten, että ilmanvaihto käy yleensä osateholla ja ilmavirrat ovat perusilmanvaihdon mukaiset vain osan aikaa päivästä. Ajokäyrien oikealla valinnalla on mahdollista korjata tämä puute. Käytännössä on kuitenkin havaittu, että vetoisuusongelmat kylmillä ilmoilla kasvavat ja tästä syystä tehostusta ei haluta pitää käytössä ilman ollessa riittävän kylmää. Ajokäyrä muodostetaankin usein siten, että lämpötilan laskiessa riittävän alas tehostuskäyrä lasketaan perusilmanvaihdon tasolle. Ajokäyrien muodostamisesta kerrotaan lisää menetelmäosassa.

#### 3.4.5 Sääntökaavio ja toimintaselostus

Työn liitteeksi (liite 1) laadittiin sääntöä selventämään järjestelmän sääntökaavio ja toimintaselostus. Sääntökaaviossa on esitetty ne toiminnot, jotka koskevat oleellisesti vakiopaineohjausta. Sääntökaaviossa ei ole esitetty kaikkia sääntölaitekeskuksen sisäisiä ohjelmallisia toimintoja.

## 4 Menetelmäosa

Tässä osassa käsitellään tuloilmaikkunoihin ja lämpötilakompensoituun vakiopaineohjaukseen perustuvien järjestelmien asennuksessa ja käyttöönotossa tarvittavat ja käytetyt menetelmät. Tämä osio antaa työohjeita työtä suorittavalle urakoitsijalle ja tietoa asennuskohteessa käytännössä tarvittavista toimenpiteistä.

### 4.1 Tyypillinen asennuskohde

Käsiteltävänä olevan järjestelmän tyypillinen asennuskohde on koneellisella poistoilmanvaihdolla varustettu asuinkerrostalo, jossa tehdään ikkunaremontti. Järjestelmä kehitettiin alun perin korjaamaan ikkunanvaihdon yhteydessä tiivistyvän rakennuksen ilmanvaihdon riittämättömyyden mukanaan tuomia ongelmia. Tyypillisessä asennuskohteessa on yhteiskanavajärjestelmä, jossa katolle sijoitetun huippumurin avulla imetään rakennukseen alipaine. Ilmaa poistetaan likaisista tiloista säädettävien poistoventtiilien

kautta. Yleisimmin vanhassa järjestelmässä on korvausilma otettu rakennuksen epätiiviskohdista, mutta myös erillisiä ulkoilmaventtiileitä on ollut käytössä.

#### 4.2 Asuinkerrostalossa vaadittavat toimenpiteet

Saneerattaessa vanha koneellisen poiston järjestelmä tuloilmaikkunoihin ja lämpötilakompensoituun vakiopaineohjaukseen perustuvaksi järjestelmäksi tarvitaan asuinkerrostalossa seuraavat toimenpiteet:

- tuloilmaikkunoiden asennus
- uuden säätölaitekeskuksen asennus
- uuden poistoilmapuhaltimen asennus jos vanha ei ole toimintakuntoinen
- ilmanvaihdon tasapainotus ja säätö
- käytönaikainen optimointi.

##### 4.2.1 Uuden ohjausyksikön asennus

Uusi säätölaitekeskus ja anturoinnit eivät vie paljon tilaa ja, laitteistot voidaan sijoittaa sähkökeskukseen, huippuimurin kylkeen tai imukammion sisä- tai ulkoseinään. Vanhojen puhaltimien jäädessä käyttöön sijoitetaan ohjauskeskukset yleensä samoihin tiloihin, joissa vanhat IV-ohjaukset sijaitsevat tai niiden välittömään läheisyyteen. Järjestelmä on yhteensopiva kaikkiin poistopuhallinmalleihin, eikä sen asennus edellytä uutta kaapelointia huippuimureille tai poistopuhaltimille. Tämän mahdollistaa uudessa ohjausyksikössä vakiona oleva häiriönpoisto ja suodatus. Jos vanha huippuimuri jää käyttöön, tarvitaan seuraavat toimenpiteet sen muuttamiseksi soveltuvaksi uuteen järjestelmään:

- Vanhan poistopuhaltimen pienemmän nopeuden syöttökaapeli puretaan moottorilta ja se käytetään anturitietojen vientiin ohjauskeskukselle.
- Ulkolämpötilalähetin sijoitetaan rakennuksen pohjoispuolelle tai varjon puolelle ja johdotetaan ohjauskeskukselle.
- Vanhat IV-ohjaukset ohitetaan, ja ne jäävät pois käytöstä. Uudessa järjestelmässä käytetehon aikaohjaus tulee uuden ohjauskeskuksen omasta kellosta.

Mikäli kohteeseen asennetaan uusi huippuimuri, jossa säätölaitekeskus on integroituna poistoilmapuhaltimen sisään, tarvitaan seuraavat toimenpiteet:

- Uudelle poistoilmanvaihtopuhaltimelle tehdään pellistä sovittimet vanhoihin imukammioihin.
- Ulkolämpötilalähetin sijoitetaan poistopuhaltimen läheisyyteen varjon puolelle ja johdotetaan puhaltimelle.
- Vanhoista 2-nopeussähkönsyötöistä vain toinen jätetään käyttöön, ja uusi puhallin saa siitä käyttöjännitteensä, ylimääräinen kaapeli päätetään ja rasioidaan imukammioon.
- Vanhat poistokoneosat toimitetaan jätehuoltoon.

#### 4.2.2 Puhaltimen ajokäyrän muodostaminen

Rakennukset ovat yksilöitä ja niiden toimintapaineet saattavat olla hyvinkin eri alueilla. Järjestelmien asennuksien ja käytön aikana tehtyjen havaintojen perusteella on voitu muodostaa keskiarvolliset kertoimet, joiden avulla vanhan poistoilmapuhaltimen tietojen perusteella voidaan muodostaa ns. kahden pisteen käyrä eli uuden järjestelmän alkuasetukset. Vanhojen pyörimisnopeussäädettyjen puhaltimien säätö perustuu useimmiten oikosulkumoottorin erilaisiin käämityksiin, taajuusmuuttajaohjaus taas taajuuden muuttamiseen. Koska kierrosnopeuden ja taajuuden välillä on olemassa riippuvuus, saadaan alkuasetukset puhaltimen ajokäyrälle seuraavien keskiarvollisten kertoimien avulla:

Vanhan  $\frac{1}{2}$  kierrosnopeuden mukainen taajuus  $25 \text{ Hz} * 1,12 = n. 28 \text{ Hz}$

Vanhan  $\frac{1}{1}$  kierrosnopeuden mukainen taajuus  $50 \text{ Hz} * 0,89 = n. 45 \text{ Hz}$

Kanavistopaineen alkuarvot saadaan ajamalla puhallinta näillä taajuusmuuttajan parametreilla. Lopullinen ajokäyrien muodostaminen tehdään tasapainotuksen yhteydessä ja käytön aikaisten kokemusten perusteella.

#### 4.2.3 Tasapainotus kokoomapisteeseen

Jotta ilmanvaihto ja vakiopaineohjaus toimisivat oikein, tulee järjestelmän olla tasapainossa. Tämä tarkoittaa sitä, että jokaisen mahdollisen ilman virtausreitin painehäviö suunnitellulla ilmamäärällä on sama. Jos näin ei ole, on joidenkin tilojen ilmanvaihto liian suuri ja joidenkin taas riittämätön. Kanaviston tasapainotuksen tavoitteena on löytää ka-

naviston ns. vaikein reitti ja säätää muiden mahdollisten reittien painehäviöt samansuuruisiksi vaikeimman reitin kanssa. Kanaviston vaikein reitti on se, jossa suunnitellulla ilmamäärällä painehäviö on suurin.

Koneellisen poiston järjestelmässä voidaan kanaviston painehäviöön vaikuttaa säädettävillä päätelaitteilla ja mahdollisilla yhteiskanavien säätöpelteillä. Uuden vakiopaineohjatun järjestelmän toiminnan kannalta onkin tärkeää, että poistoilmalaitteet ovat säädettäviä. Kuten edellä esitettiin, voidaan vanhat pääte-elimet jättää käyttöön, jos ne ovat säädettävissä, muuten ne vaihdetaan kartioventtiileihin.

Kohteissa, joissa on peltikanavisto, ovat yleensä säätöpellit nousukanavissa. Niiden avulla voidaan säätää nousukanavat keskenään tasapainoon. Vanhoissa rakenneaineissa kanavistoissa ei kuitenkaan yleensä ole nousukanavissa säätöpeltejä. Tällöin voidaan käyttää kanaviston sisään asennettavia säätölaitteita, joilla voidaan lisätä nousukanavan painehäviötä.

Yleisesti kanaviston tasapainotus ja ilmavirtojen säätö voidaan tehdä kahdella tavalla: suhteellisella ja laskennallisella tasapainotusmenetelmällä (19). Laskennallinen menetelmä ei ole kovinkaan käyttökelpoinen saneerauskohteessa, koska se vaatii kanaviston ominaisuuksien tarkkaa tuntemista. Suhteellista tasapainotusmenetelmää taas voidaan soveltaa hyvinkin koneellisen poistoilmanvaihdon saneerauksen yhteydessä. Suhteellisen tasapainotusmenetelmän periaatteena on asettaa auki olevilla säätölaitteilla ilmavirtojen suhteet oikeiksi ja tämän jälkeen saattaa kokonaisilmavirrat suunnitelmien mukaisiksi.

Vakiopaineohjatun järjestelmän asennuksen yhteydessä tehdään järjestelmän tasapainotus kokoomapisteeseen. Tämä tarkoittaa kanaviston tasapainotusta siten, että voidaan asettaa asetusarvo puhaltimen alapuolella vallitsevalle paine-erolle, jolla suunnitellut ilmamäärät toteutuvat toleranssien puitteissa kaikkialla rakennuksessa. Tässä luvussa esitellään kaksi menetelmää, joilla tasapainotus voidaan tehdä. Toinen menetelmä on kokemusperäisesti kehitetty. Se sisältää yksinkertaistuksia, mutta sen toimivuus on havaittu hyväksi käytännössä. Toisena menetelmänä esitellään suhteellinen säätötapa. Kokemusperäisen tasapainotusmenetelmän kulku on seuraava:



1. Yhteiskanavaventtiilit puhdistetaan ja asetetaan samalla perussäätöihin. Perussäätöjen asettelu riippuu muun muassa käytössä olevien venttiilien tyypistä, koosta ja nousulinjan painehäviöistä. Asuinkerrostalossa venttiilien esiasettelu (aukeama millimetreinä) voisi olla esimerkiksi:

a. keittiöt	+5
b. kylpyhuoneet	0
c. wc	-5
d. vaatehuoneet	-10.

Koska yhteiskanavajärjestelmässä on yleensä samanlaiset tilat yhdistetty yhteen yhteiskanavaan, saadaan esiasettelulla ohjattua poistoilmamäärien suhteita nousukanavissa. Yllä olevien esiasetteluarvojen tarkoituksena on ohjata suurin poistoilmamäärä keittiön yhteiskanavaan ja pienin poistoilmamäärä vaatehuoneen yhteiskanavaan. Esiasetteluarvot tulee kuitenkin arvioida tapauskohtaisesti.

2. Ilmanvaihto laitetaan ohjauskeskuksesta käsikäytöllä perusilmanvaihdon eli ns. ½-teholle.
3. Mitataan yhteiskanavaventtiilien yli vaikuttava paine-ero ja lasketaan ilmamäärä. Yhteiskanavaventtiilejä säädetään tarpeen mukaan kunnes ilmamäärät toleranssien puitteissa toteutuvat. Säättö aloitetaan yleensä ylimmästä kerroksesta ja edetään linjassa alaspäin. Kun kaikki venttiilit on kertaalleen säädetty, tehdään uusi säätökierros. Kierroksia voidaan tehdä useita tarpeen mukaan, kunnes suunnitellut ilmamäärät saavutetaan toleranssien puitteissa.
4. Jos säädön aikana havaitaan, ettei tarvittavia ilmamääriä toleranssien puitteissa saavuteta, nostetaan taajuusmuuttajalla puhaltimen tehoa, kunnes ilmamäärät toteutuvat. Saatua uusi hertsimäärä/kanavapaine, jolla suunniteltu ilmanvaihto saavutetaan, tallennetaan perusilmanvaihdon asetusarvoksi.
5. Jos säädön aikana havaitaan, että nousukanavien välillä on olennaisia eroja, tasapainotetaan nousukanavat keskenään lisäämällä helpompien reittien kuroista.

6. Kun perusilmanvaihdon mukaiset ilmamäärät on säädetty, ilmanvaihto laite-  
taan ohjauskeskuksesta käsikäytöllä tehostukselle eli ns. 1/1-teholle. Pisto-  
kokein varmistetaan, että tehostus on vähintään 30 % mutta enintään 50 %  
suurempi kuin perusilmanvaihto. Mikäli tarpeellista, muutetaan puhaltimen te-  
hoa taajuusmuuttajan avulla ja tallennetaan uusi hertsimäärä/kanavapaine  
tehostusilmanvaihdon asetusarvoksi.
7. Ilmanvaihdon säädöstä ja tasapainotuksesta laaditaan pöytäkirja, joka toimi-  
tetaan kiinteistön edustajalle.

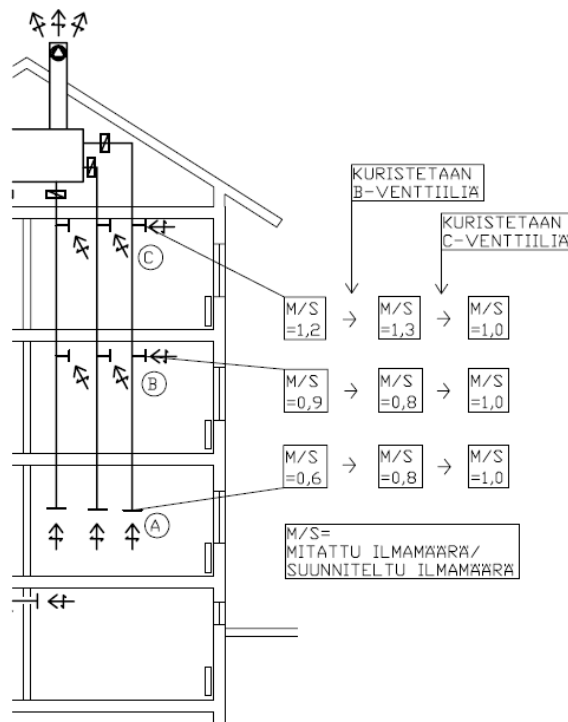
Tämä kokemusperäinen menetelmä vaatii säätäjältä vankkaa kokemusta järjestelmien  
säädöstä, sillä venttiilien esiasettelulla on suuri rooli onnistuneen lopputuloksen kan-  
nalta. Säätäjän on osattava arvioida kanavareittien painehäviöitä ja päätellä, mikä on  
järjestelmän vaikein reitti. Tämän perusteella asetettujen esiasetuksien perusteella riit-  
tävä lopputulos voidaan saavuttaa nopeasti ja riittävällä tarkkuudella. Tällä menetelmällä  
säädettyssä järjestelmässä ei välttämättä saavuteta alinta mahdollista painetasoa kana-  
vistossa esiasettelun epävarmuuksien vuoksi.

Koneellisen poistojärjestelmän tasapainotus voidaan tehdä myös suhteellisen säädön  
periaatteella. Tämä menetelmä on käyttökelpoinen, jos säätäjällä ei ole riittävästi koke-  
musperäistä tietoa ja halutaan hyvin tarkka lopputulos. Suhteellisen säädön periaatteella  
voidaan myös kanaviston painetasot minimoida. Tämä menetelmä on työläämpi ja saat-  
taa vaatia enemmän käyntejä asunnoissa kuin edellä esitetty tapa. Tämä menetelmä  
vaatii myös ilmavirtojen mittaus- ja säätömahdollisuutta nousukanavissa. Suhteellisen  
tasapainotusmenetelmän työvaiheet ovat seuraavat:

1. Avataan kaikki säätöpellit ja päätelaitteet täysin auki. Esisäätöarvot jätetään  
kuitenkin laitteiden säätöalueelle.
2. Puhallin säädetään pyörimään reilulla nopeudella (perusilmanvaihto + 10 %),  
jotta saavutetaan riittävästi painehäviötä mitattavissa pisteissä.
3. Päätelaitteiden tilavuusvirrat mitataan ja lasketaan mitatun ja suunnitellun ilma-  
virran suhde. Suhdelukujen avulla määritetään ns. referenssiventtiili, joka on pää-  
sääntöisesti kanaviston kauimmaisina venttiili. Jos kuitenkin kanavistossa on sel-  
lainen päätelaite, jossa mitatun ja suunnitellun ilmavirran suhde on pienempi kuin

kanaviston viimeisessä venttiilissä, säädetään referenssiventtiiliin ilmavirtojen suhde ko. venttiiliin kanssa samansuuruiseksi.

4. Kun on löydetty järjestelmän referenssiventtiili, aletaan säätää päätelaitteita järjestyksessä siten, että niiden mitatun ja suunnitellun ilmamäärän suhde on sama kuin referenssiventtiilissä (kuva 16). Jokaisen päätelaitteen ilmavirran asetus vaikuttaa myös referenssiventtiiliin. Siksi sen ilmamäärä tulee tarkistaa jokaisen asetuksen jälkeen.
5. Kaikki kanaviston haarat tasapainotetaan suhteellisesti edellä esitetyllä tavalla. Tämän jälkeen haarat tasapainotetaan keskenään niin ikään saattamalla mitatun ja suunnitellun ilmamäärän suhteet yhtä suuriksi.
6. Kun kaikki päätelaitteen on saatu aseteltua siten, että mitatun ja suunnitellun ilmamäärän suhde on kaikissa sama, muutetaan taajuusmuuttajalla puhaltimen tehoa niin, että suunnitellut ilmamäärät saavutetaan.



Kuva 16. Suhteellisen tasapainotusmenetelmän periaate esitettynä yhdessä nousukanavassa.

Suhteellisella tasapainotusmenetelmällä saadaan lopputuloksena tasapainoinen kanavisto, jossa vaikeimmalla reitillä kaikki säätimet ja venttiilit ovat täysin auki. Tällöin järjestelmä toimii minimipainetasossa.

Tasapainotuksen yhteydessä tulee huomioida mahdolliset järjestelmän tasapainoon vaikuttavat ulkoiset olosuhteet. Erityisesti tulee kiinnittää huomiota termisen paine-eron vaikutuksiin, jos säätötyö tehdään kesällä, jolloin terminen paine-ero on pientä. Termisen paine-eron vaikutusta voidaan kompensoida säätövaiheessa säätämällä ylimpien kerrosten ilmanvaihtoa tavallista suuremmaksi, jotta huoneiston alipaineisuus pysyisi talvi-tilanteessakin.

#### 4.2.4 Mittauspöytäkirja

Mittauspöytäkirjaan dokumentoidaan mittaustulokset. Jokaisesta kohteesta tulee esittää mittauspöytäkirjassa seuraavassa luettelossa esitetyt tiedot. Dokumentoimalla mittaustulokset riittävän tarkasti voidaan tarvittaessa tulokset tarkistuttaa kolmannella osapuolella.

Mittauspöytäkirjassa tulee esittää

- mittaukset tehneen yrityksen nimi, osoite ja yhteystiedot
- mittajaan/asentajan nimi
- mittauksen päivämäärä
- kiinteistön nimi ja osoite
- huoneiston numero ja porras, esim. B31, A2
- tilan määrite, esim. autotalli, sauna
- venttiilin asetus, esim. -15, +10
- säätöelimen / venttiilin tyyppi, esim. KSO-100, KSOV-100
- venttiilin sijainti huoneistossa, esim. kph, vh
- venttiilin yli vaikuttava paine-ero, Pa
- venttiiliin läpi kulkeva ilmavirta l/s, laskemalla tai mittaamalla

- poikkeukset, esim. venttiili jäänyt keittiörakenteiden sisään, venttiili puuttuu, ulko-ovesta puuttuvat tiivisteet, keittiön oven ilmarako liian pieni tai oven sulkeminen vaikuttaa ilmavirtaan.

Liitteenä (liite 2) on mittauspöytäkirjan mallipohja.

#### 4.2.5 Huolto ja optimointi

Ensimmäisen lämmityskauden jälkeen hienosäädetään järjestelmä. Ilmanvaihdon ajokäyrä muotoutuu rakennuskohtaisesti käytön aikana. Ajokäyrän muodostamisessa hyödynnetään asukaspalautetta, jolloin voidaan huomioida esille tulleita ongelmia. Jos esimerkiksi ylimmissä kerroksissa on esiintynyt ikkunoiden huurtumista, voidaan perusilmanvaihdon ajopainetta nostaa ilman lämpötilan laskiessa termisen paine-eron kompensoimiseksi. Järjestelmän vuosittaisia huoltokohteita ovat esimerkiksi huoneistojen ikkunaventtiilien suodattimet.

## 5 Tutkimusosa

### 5.1 Energiansäästö

Tuloilmaikkunoihin perustuvan poistoilmanvaihtojärjestelmän on havaittu myös säästävän energiaa. Energiansäästöä saavutetaan kun korvausilma, joka on ennen otettu sisään käsittelemättömänä ulkoilmana, lämpenee tuloilmaikkunan lasien välissä. Energiansäästöä voidaan myös saavuttaa puhallinsähkön säästönä, kun siirrytään kaksinopeuksisesta puhaltimen ohjauksesta portaattomasti säädettävään taajuusmuuttajaohjaukseen. Puhaltimen käydessä tarpeenmukaisemmin säästetään energiaa myös, jos ulospuhallettavan lämpimän ilman määrä on pienempi kuin aiemmin.

Tässä käsitelty poistoilmanvaihtojärjestelmä on tarkoitettu perusparannustuotteeksi korjausrakentamiseen. Tällöin saavutettavat energiasäästöt riippuvat oleellisesti vanhan järjestelmän tilasta. Jos esimerkiksi vanhan järjestelmän ilmanvaihto on ollut riittämätön ja ilmanvaihdon määrä kasvaa, kun järjestelmä säädetään toteuttamaan vähintään määräysten vaatima perusilmanvaihto, voi olla, että energiaa kuluu enemmän kuin aikaisemmin. Tällöin saavutetaan kuitenkin huomattavaa etua sisäilmaston laadun paranemisenä. Tässä työssä energiansäästötarkastelun perusolettamuksena on, että vanhalla

järjestelmällä on saavutettu riittävä perusilmanvaihto, ja perusparannettu poistoilmanvaihto voi toimia samoilla ilmamäärillä kuin vanhakin järjestelmä.

### 5.1.1 Tuloilmaikkunoiden energiansäästö

Tuloilmaikkunan energiatehokkuutta on tutkittu laajasti VTT:n tiedotteessa T2329 (15). Tiedotteen mukaan tuloilmaikkunan energiatehokkuuteen vaikuttavat mm. seuraavat tekijät:

- ilmavirta
- ilman kulkureitit
- ikkunan pinta-ala
- ikkunan muoto
- sisäpuutteen lämmöneristävyys
- ulkopuutteen lämmöneristävyys
- valoaukon suhde kokonaispinta-alaan.

Tuloilmaikkunan energiatekninen toimivuus voidaan esittää yhtälöllä:

$$\dot{Q} = (U_{qv} - U_v) A \Delta T - g A G_{sol} - g_v A G_{sol} \quad (1)$$

A	on ikkunan pinta-ala (m <sup>2</sup> )
$\dot{Q}$	on hetkellinen lämpövirta ikkunan läpi (W)
G <sub>sol</sub>	on auringonsäteilyn teho ikkunan ulkopinnalle (W / m <sup>2</sup> )
$\Delta T$	on ikkunan yli vaikuttava sisä- ja ulkolämpötilojen erotus eli sisälämpötila-ulkolämpötila (K)
U <sub>qv</sub> ja U <sub>v</sub>	ovat lämmönläpäisykertoimia eli kappaleen läpi menevä lämpövirta jaettuna lämpötilaerolla (W/m <sup>2</sup> K). U <sub>v</sub> on osuus lämmönläpäisykertoimesta, joka siirtyy tuuletusilmavirtaan, osuus U <sub>qv</sub> -U <sub>v</sub> johtuu ulos rakenteesta. Näissä kertoimissa ei huomioida auringon säteilyä.
g <sub>v</sub>	on suhteellinen osuus ulkopinnalle osuvasta auringonsäteilyn tehosta, joka siirtyy tuuletusilmavirtaan (ainoastaan auringonsäteilyn vaikutus otetaan huomioon, lämpötilaero seinän yli nolla)

$g$  on suhteellinen osuus ulkopinnalle osuvasta auringonsäteilyn tehosta, joka johtuu kappaleen läpi huonetilaan (ainoastaan auringonsäteilyn vaikutus otetaan huomioon, lämpötilaero seinän yli nolla).

Tuloilmaikkunan energiansäästö perustuu siis tuloilman lämpenemiseen ikkunan lämpöhäviöiden ja auringon säteilyn ansiosta. Ikkunassa, jonka kautta ei oteta ulkoilmaa, on jonkinlainen lämmönläpäisykertoimen  $U$  mukainen lämpöhäviö. Kun ikkunan kautta otetaan ulkoilmaa, sen ikkunalasien välissä olevan ilman lämpötila laskee, ja ikkunan lämpöhäviöt kasvavat jonkin verran. Kun ikkunan kautta otetaan ulkoilmaa, on sen lämpöhäviö siis lämmönläpäisykertoimen  $U_{qv}$  mukainen, mikä on jonkin verran enemmän kuin ikkunassa, jonka kautta ei oteta ulkoilmaa. Ulkoilman virratessa ikkunalasien välissä, siirtyy tuloilmavirtaan lämmönläpäisykertoimen  $U_v$  mukainen lämpöenergiamäärä. Tämän kertoimen mukainen määrä energiaa siis palautuu takaisin huoneeseen ulkoilmavirran mukana. Kokonaisuudessaan ikkunan lämpöhäviöenergia on siis lämmönläpäisykertoimien  $U_{qv}$ - $U_v$  erotuksen mukainen, mikä on jonkin verran pienempi arvo kuin  $U$ .

Tuloilman lämpenemistä tuloilmaikkunassa kuvaa lämpenemissuhde, jonka perusteella voidaan arvioida huoneeseen ikkunan läpi virtaavan ilman lämpötilaa eri ulkoilman olosuhteissa. Lämpenemissuhde voidaan laskea kaavalla 2.

$$\varepsilon = \frac{T_v - T_u}{T_s - t_u} \quad (2)$$

$T_v$  on tuloilman lämpötila

$T_u$  on ulkoilman lämpötila

$T_s$  on sisäilman lämpötila

Jos tunnetaan lämpenemissuhde, voidaan sen avulla arvioida tuloilmaikkunan energiansäästöä.

### 5.1.2 Puhallinsähkön säästö

Siirtymällä vanhasta kaksinopeuksisesta puhaltimen ohjauksesta lämpötilakompensoituu ja vakiopaineohjattuun ohjaukseen voidaan säästää energiaa myös puhallinsähkönä. Puhallinsähkön säästöpotentiaali riippuu kuitenkin merkittävästi vanhan järjestel-

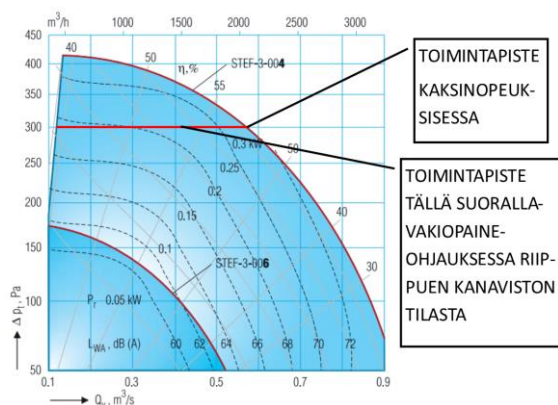
män tilasta. Erityisen oleellisessa roolissa on ilmanvaihdon riittävyys osatehoilla ja ilmanvaihdon käyntiajat. Puhallinsähköä voidaan säästää, jos vanha järjestelmä on toiminut tarpeettomasti liian suurella nopeudella. Usein kuitenkin asuinkerrostaloissa on pienennetty energiankulutusta tinkimällä ilmanvaihdon määrästä. Näissä tapauksissa puhallinsähkön energiankulutus saattaa jopa kasvaa uuden puhaltimen ohjausjärjestelmän asennuksen yhteydessä. Samalla saavutetaan kuitenkin paremmat sisäilmaolosuhteet. Vakiopaineohjaukseen siirtyminen vaatii taajuusmuuttajan asentamisen, jonka sähkön tarve tulee huomioida puhallinsähköä tarkasteltaessa. Taajuusmuuttajat on mahdollista ohjelmoida toimimaan mahdollisimman taloudellisesti.

Vakiopaineohjaukseen siirtymisellä voidaan saavuttaa energiansäästöjä puhallinsähkössä kaksinopeuksiseen ohjaukseen verrattuna. Järjestelmäkohtaisesti ohjatussa järjestelmässä nämä säästöt jäävät kuitenkin pieniksi, koska ilmanvaihtoa joudutaan tehostamaan kello-ohjauksella ja tällöin syntyy usein tarpeetonta tehostusta ja sitä kautta sähkönkulutusta.

Jos vakiopaineohjattuun järjestelmään on liitetty esimerkiksi huoneistokohtaisesti tehostettavissa olevat huuvut, voidaan tehostus hoitaa huoneistokohtaisesti ja tällöin voidaan saavuttaa merkittävämpiä säästöjä vakiopaineohjauksen ansiosta. Puhallin ei tällöin käy koskaan tarpeettomasti liian nopealla teholla, vaan jokainen asukas voi halutessaan tehostaa asuntonsa ilmanvaihtoa avaamalla tehostusläpän. Tällöin vakiopaineohjaus havaitsee kanapaineen pienenemisen ja tehostaa ilmanvaihtoa.

Kuvassa 17 on esitetty kaksinopeuksisen ja vakiopaineohjatun puhaltimen toiminnan ero. Oletetaan, että kuvan tilanteessa on tehostustilanne. Vakioilmavirtainen järjestelmä toimii jatkuvasti verkoston ominaiskäyrän ja puhaltimen ominaiskäyrän leikkauspisteessä, oli tehostustarvetta tai ei. Vakiopaineohjattu järjestelmä taas toimii vakiopaine-suoralla riippuen kanaviston paineesta. Jos talossa on huoneistokohtaiset tehostusläpät, muuttuu kanaviston paine niitä avatessa ja tai suljettaessa ja muuttaa puhaltimen pyörimisnopeutta tarpeen mukaan. Samoin esimerkiksi useiden ulkoilmaventtiilien sulkeminen saa paineen kanaviston mittauspisteessä nousemaan, jolloin vakiopaineohjattu puhallin pudottaa kierrosnopeuttaan.





Kuva 17. Vakiopaineohjauksen ja vakioilmavirtaohjauksen ero (20, s. 9 muokattu).

Siirryttäessä vakiopaineohjaukseen on mahdollista jättää vanha huippuimuri käyttöön, jolloin saavutettava mahdollinen puhallinsähkön säästö tai lisääntyminen riippuu edellä mainituista seikoista. Järjestelmän asentamisen yhteydessä on mahdollista valita myös uuden huippuimurin asennus. Uusien puhaltimien SFP-luku on vanhoihin verrattuna huomattavasti parempi, jolloin syntyy potentiaalia sähkön säästölle. Vakiopaineohjatun järjestelmän asennuksen yhteydessä tehdään aina järjestelmän säätö ja tasapainotus. Suhteellisella säätötavalla on painetasot mahdollista minimoida. Jos vanha järjestelmä on säädetty tiukaksi, voidaan puhallinsähkön säästöä saavuttaa säätämällä järjestelmä aiempaa väljemmäksi.

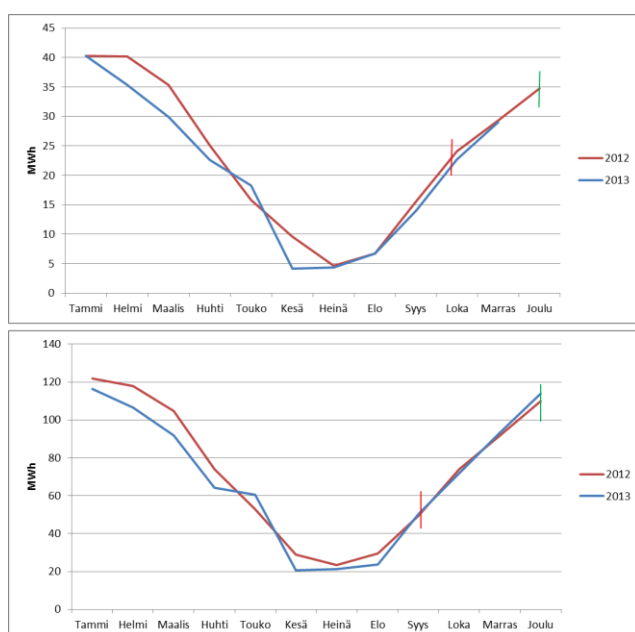
### 5.1.3 Energiansäästö toteutetuissa kohteissa

Tarkasteltavasta poistoilmanvaihdesta on tehty energiansäästötutkimus (24), jossa on tutkittu toteutuneita energiansäästöjä 23 kohteessa eri puolilla Suomea. Kohteissa seurattiin kuukausikohtaista kaukolämmön kulutusta vuosi ennen tehtyjä saneerauksia ja vuosi niiden jälkeen. Tutkimuksen tekijä oli Motiva Services Oy.

Lähtötietoina kohteista kerättiin rakentamisvuosi, kohteen sijainti, rakennuksen tilavuus, asuntojen määrä, porrashuoneiden määrä ja kerrosten lukumäärä. Mitatut kaukolämpöenergian kulutukset on normitettu siten, että voidaan vertailla saman rakennuksen energiankulutuksia riippumatta sääolosuhteiden vaihteluista. Käyttöveden lämmittämiseen kulunutta energiaa ei tutkimuksessa mitattu erikseen. Sen osuus arvioitiin kesäajalta, jolloin lämpöenergiankulutus oli pienimmillään. Tutkimuksessa ei mitattu sähköenergian kulutusta, joten puhallinsähkön säästöä ei tutkimuksessa arvioitu. Joissakin tapauksissa

tutkituissa kohteissa oli samaan aikaan tehty myös muita energiatehokkuuteen vaikuttavia parannuksia. Nämä dokumentoitiin osana todentamistuloksia. Tulosten dokumentoinnin yhteydessä ei ole tietoa ilmamääristä ennen ja jälkeen ilmanvaihtosaneerauksen, joten ei voida tarkastella, onko ilmanvaihtoa jouduttu parantamaan entisestään tai mahdollisesti leikattu liian suuria ilmavirtoja.

Analysoitaessa tutkimuksen tuloksia havaittiin, että ennen ja jälkeen tuloilmaikkunoiden ja lämpötilakompensoidun vakiopaineohjauksen asentamista kuukausikohtaisesti mitatun kaukolämpöenergia kuvaajissa on samoja elementtejä riippumatta kohteesta. Kuvaajien mukaan suurin energiansäästö saavutetaan talvikuukausina. Tällöin ilma virtaa tuloilmaikkunoiden kautta lämmeten samalla. Useassa tutkituista kohteista havaitaan, että kaukolämmön energiankulutus kasvaa järjestelmän asentamisen jälkeen hetkellisesti aikaisempaa suuremmaksi huhtikuun ja toukokuun paikkeilla (kuva 18). Tämä johtuu ikkunaventtiilien kääntämisestä kesäasentoon, jolloin ilma tulee asuntoon suoraan ulkoa ja esimerkiksi yöllä ilma saattaa keväällä olla hyvinkin kylmää. Koska usein ilmanvaihtosaneerauksen yhteydessä ilmanvaihto tehostuu, on uuden järjestelmän energiankulutus tuolloin hieman aikaisempaa suurempi. Automaattisesti ulkoilman lämpötilaan reagoivilla ikkunaventtiileillä voitaisiin mahdollisesti poistaa mitatuissa kohteissa systemaattisesti esiintyvä energiankulutuksen nouseminen keväällä.



Kuva 18. Kahden rakennuksen kaukolämpöenergian kulutus ennen ja jälkeen tuloilmaikkunoilla ja ulkolämpötilan mukaan säätyvällä vakiopaineohjauksella toteutetun koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän asennusta. Järjestelmän asentamisen aloitusajankohta on esitetty punaisella pystyviivalla ja lopetusajankohta vihreällä pystyviivalla. (24.)

Keskimääräinen säästöprosentti tutkituissa kohteissa oli kaukolämpöenergian kokonaiskulutuksessa 10,7 % ja pelkässä rakennuksen lämmitysenergiankulutuksessa 14,7 %. Rakennuksen lämmitysenergiankulutuksen arvioinnissa skaalattiin lämpimän käyttöveden lämmittämiseen vaadittavan energian osuus pois vähentämällä jokaisen kuukauden energiankulutuksesta arvioitu käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energianmäärä. Taulukkoon 5 on koottu tutkimuksen tuloksia.

Taulukko 5. Tuloilmaikkunoilla ja lämpötilakompensoidulla vakiopaineohjauksella toteutettujen järjestelmien energiansäästöt rakennuksen kaukolämpöenergiassa. Tutkimuksessa on mitattu energiankulutus vuosi ennen ja jälkeen järjestelmän asennuksen. (24.)

nro	Prh (kpl)	Kerrokset (kpl)	Huoneistot (kpl)	Tilavuus (m <sup>3</sup> )	Säästö % Lämmitys energia	Säästö % KL- energia	Muut mahdollisesti vaikuttavat toimet
1	6	4	29	11610	24,5	15,5	parvekeovet uusittu
2	2	3	54	6350	12,2	5,8	IV:n puhdistus, lämmitysverkoston pesu ja tasapainotus, parvekeovien uusiminen
3	1	7+1	33	7750	28,5	16,2	parvekeovien uusiminen, ilmastoinnin nuohous kaukolämpölaitteiston lämpövahti
4	2	5	40	8250	27,4	17	parvekeovien uusiminen, parvekeseinän lisälämmöneristys, lämmitysjärjestelmän tasapainotus ja uudet patteritermostaattit
5	2	7+1	51	13398	23,6	16,7	julkisivun ja parvekkeiden taustaseinien lisäeristys ja levytys
6	1	9+1	45	10062	15,7	11,8	julkisivun ja parvekkeiden taustaseinien lisäeristys ja levytys
7	3	3	21+10at	6095	15,6	8,2	ulkoseinien eristystä korjattu osittain
8	3	3	24	7420	-1,5	2,1	autotallien ovet uusittu, allashuoneen ja saunaosaston lämmitysputkisto uusittu, ilmanvaihdon automatiikka uusittu, taajuusmuuttajat lisätty ja poistoilmakanavat puhdistettu ja säädetty, kaakon puoleisen päädyn tiiliseinä / reunapellitys uusittu
9	1	10+2	50	13750	31	19,8	parvekeovet uusittu
10	3	3-5	59	14620	7,2	1,9	-
11	4	4-6	75	17000	-3,5	0,7	-
12	2	5	25	6380	11,5	10,3	patteriverkoston säädöt + lämmönsiirrin (Huom! Vain uuden ohjausyksikön vaikutus huomioitu tässä kohteessa!)
13	7	3-5	75	20140	23,6	11,8	pitkien julkisivujen lämpörappaus, talojen päädyt saneerattu jo vuosia aikaisemmin
14	1	5	10	6360	11,1	9,7	varaston oven uusiminen
15	4	8	70	18460	10,7	7,4	-
16	2	5	27	6335	22,1	13,3	ikkunanpielien lisäeristys
17	5	3+1	33	11052	24,8	19,7	parvekeovet uusittu
18	2	8	48	11570	18,6	16,6	parvekeovet uusittu
19	2	5	35	9290	-17,6	-5	parvekeovet ja ulko-ovet uusittu
20	1	7+1	35	8520	21,6	19,7	parvekeovet uusittu
21	1	7+1	35	8520	19,5	13,8	parvekeovet uusittu
22	2	7+1	70	16560	16,2	12,3	parvekeovet ja -seinät uusittu, IV-kanavien nuohous tehty
23	1	7	33	7400	-3,6	1,7	ikkunoiden tuloilmasuodattimet vaihdettu (Huom! Vain uuden ohjausyksikön vaikutus huomioitu tässä kohteessa!)
Keskimääräinen säästöprosentti					14,7 %	10,7 %	

Tutkimuksen tuloksista havaitaan, että säästöprosentti vaihtelee riippuen kohteesta. Kuten edellä on mainittu, riippuu tällä järjestelmällä saavutettavat säästöt oleellisesti vanhan järjestelmän tilasta. Muutamassa kohteessa havaitaan lämpöenergiankulutuksen lisääntyneen. Tässä saattaa olla kysymys siitä, että ilmanvaihtoa on jouduttu tehostamaan tai siitä on haluttu entistä tehokkaampi saneerauksen yhteydessä.

Tuloilmaikkunoilla saavutettavia energiasäästöjä voidaan arvioida laskennallisesti luvussa 5.2.1 esiteltujen menetelmien avulla. Tämän työn liitteeksi (liite 4) laskettiin esimerkkilaskelmat tyypilliselle asennuskohteelle. Esimerkkilaskelmissa laskettiin, kuinka paljon tuloilmaikkunoiden asentaminen vaikuttaa rakennuksen ikkunoiden lämpöhäviöenergiaan ja rakennukseen otettavan korvausilman lämmittämiseen tarvittavaan energiaan. Tulokset on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Esimerkikohteessa tuloilmaikkunoilla saavutettavat energiasäästöt laskennallisesti. Tarkempi laskenta ja lähtötiedot on esitetty liitteessä 4.

<b>Tuloilmaikkunat</b>		
Tuloilmaikkunoiden lämpöhäviöenergia	37576 kWh/a	
Vuotoilman lämmittämiseen tarvittava energia	47274 kWh/a	
Muiden kuin tuloilmaikkunoiden lämpöhäviöenergia	30548 kWh/a	
Lämpöhäviöenergia yhteensä	115398 kWh/a	
<b>Vanhat ikkunat</b>		
Vanhojen ikkunoiden lämpöhäviöenergia	75204 kWh/a	
Vuotoilman lämmittämiseen tarvittava energia	72924 kWh/a	
Lämpöhäviöenergia yhteensä	148127 kWh/a	
<b>Uudet ikkunat</b>		
Uusien ikkunoiden lämpöhäviöenergia	48345 kWh/a	
Vuotoilman lämmittämiseen tarvittava energia	72924 kWh/a	
Lämpöhäviöenergia yhteensä	121269 kWh/a	
<b>Energiansäästöt</b>		
KL energiankulutus	233400 kWh	
	kWh/a	% KL kulutuksesta
Vanhat ikkunat–Tuloilmaikkunat	32730	14 %
Uudet tavalliset ikkunat–Tuloilmaikkunat	5871	3 %

On huomioitava, että esimerkkilaskelmat on laadittu vuonna 2006 tehdyn VTT:n tiedotteen T2329 (15) suoritusarvojen perusteella. Nykyisten tuloilmaikkunoiden suoritusarvot

ovat kehittyneet, samoin uusien tavallisten ikkunoiden lämmönläpäisykertoimet. Mittaus- tuloksista (taulukko 5) ja laskentatuloksista (taulukko 6) havaitaan kuitenkin, että lasken- tatulokset ovat hyvin samansuuntaiset toteutuneissa kohteissa mitattujen energiansääs- töjen kanssa.

## 5.2 Energiansäästön osoittaminen ja korjausrakentamisen energiatehokkuusasetuk- sen toteutuminen

### 5.2.1 Energiansäästön arviointiin kehitetyt menetelmät

VTT:n tiedotteessa T2329 (15) on esitetty ehdotus kuinka tuloilmaikkunan energiasäästö voidaan ottaa huomioon tasauslaskelmissa. Tässä työssä on tutkittu, kuinka vastaavaa menetelmää voitaisiin soveltaa energiansäästön osoittamisessa. Tässä työssä on tut- kittu erityisesti tuloilmaikkunoiden energiansäästöä ja sen osoittamista.

T2329:n ehdotuksen mukaan tuloilmaikkunan lämpöhäviö voidaan osoittaa kolmella ta- valla:

$$1. \quad \dot{Q} = U A \Delta T + (1 - \varepsilon) * q_v \rho c_p \Delta T \quad (3)$$

$$2. \quad \dot{Q} = (U_{qv} - U_v) A \Delta T + q_v \rho c_p \Delta T \quad (4)$$

$$3. \quad \dot{Q} = (U_{qv} - U_{v2}) A \Delta T \quad (5)$$

$\dot{Q}$	on ikkunan lämpöhäviöteho
$A$	on pinta-ala m <sup>2</sup>
$q_v$	on tuloilmavirta l/s
$\rho$	on ilman tiheys kg / m <sup>3</sup>
$c_p$	on ilman ominaislämpökapasiteetti kJ / kg K
$\Delta T$	on lämpötilaero K
$U$	on ikkunan lämmönläpäisykerroin (W / m <sup>2</sup> K)
$U_{qv}$	on lämmönläpäisykerroin, jossa on huomioitu ilmavirran jäähdyttävä vaikutus (W / m <sup>2</sup> K)
$U_v$	on lämmönläpäisykerroin, jonka mukainen lämpömäärä siirtyy tuloilmavirran mu- kana takaisin rakennukseen (W / m <sup>2</sup> K)
$U_{v2}$	on lämmönläpäisykerroin, jossa on huomioitu myös ilman lämpeneminen raken- teessa (W / m <sup>2</sup> K)

$\varepsilon$  on lämpenemissuhde

Käyttökelpoisia vaihtoehtoja lämpöhäviön pienenemisen ja sitä kautta energiansäästön osoittamiseen ovat ainakin vaihtoehdot 1 ja 2. Molemmat menetelmät vaativat tuloilmaikkunoiden suoritusarvojen selvittämistä mittaamalla. Tiedotteessa T2329 on esitetty menettelytavat suunnittelutietojen määrittämiselle.

Vaihtoehdon 1:n mukaisessa laskennassa tuloilmaikkunoiden lämpöhäviö lasketaan lämpöhäviökertoimella, jonka ikkuna saa suunnitteluilmavirran virratessa sen läpi. Tuloilman katsotaan lämpenevän lämpenemissuhteen  $\varepsilon$  mukaisesti, joka on niin ikään riippuvainen ilmavirrasta. Muiden kuin tuloilmaikkunoiden lämpöhäviöt lasketaan niiden omilla U-arvoilla.

T2329 esittää vaihtoehdon 2 mukaisen esityksen tuloilmaikkunan energiasäästön huomioimiseen tasauslaskennassa. Esityksen mukaan lämpöhäviöitä laskettaessa käytetään arvoa  $H = (U_{qv} - U_v)$  tuloilmaikkunoiden U-arvona. Tämä arvo on pienempi kuin tavallinen U-arvo, koska se ottaa huomioon, että osa ikkunasta ulos johtuvasta lämpömäärästä siirtyy takaisin huoneeseen tuloilman mukana. Käytettäessä tätä vaihtoehtoa on muissa energia ja teholaskelmissa lämpenemissuhde  $\varepsilon$  nolla, koska lämmöntalteenotto on otettu huomioon tekijällä  $U_v$ . Arvot  $U_{qv}$  ja  $U_v$  ovat ilmavirrasta riippuvia ja laskelmissa niiden arvoina tulee käyttää suunnitteluilmavirtaa tai suunnittelupaine-eroa vastaavia arvoja.

Vaihtoehtoa 1 käytettäessä voisi laskennan kulku olla esimerkiksi seuraavanlainen:

1. Määritetään tuloilmaikkunoiden kautta tuleva ilmamäärä.
  - a. Käytetään valmiita suunnitteluarvoja, jos sellaiset on saatavilla.
  - b. Lasketaan vuotoilmanvaihto suunnitellun keskimääräisen rakennuksen alipaineisuuden ja rakennuksen vuotoilmakertoimen avulla. Vähennetään se tavoitteena olevasta rakennuksen ilmanvaihtokertoimesta. Saatua luku on se osuus rakennuksen ilmanvaihtuvuudesta, joka tulee tuloilmaikkunoiden kautta.
2. Määritetään tuloilmaikkunoiden pinta-ala.
  - a. Käytetään valmiita suunnitteluarvoja, jos sellaiset on saatavilla.
  - b. Perusperiaatteen mukaan, jolloin jokaiseen asuinhuoneeseen tulee vähintään yksi tuloilmaikkuna. Tuloilmaikkunoiden pinta-alaa arvioitaessa käytetään ikkunoiden keskimääräistä kokoa.

3. Määritetään keskimäärin yhden tuloilmaikkunan kautta tuleva tuloilmavirta ( $\text{l/s} / \text{ikkuna m}^2$ ).
4. Määritetään keskimääräisellä ilmavirralla tuloilman lämpenemissuhde  $\varepsilon$  mitatuista suorituservoista.
  - a. VTT:n tiedotteessa T2329 on esitetty menettelytavat suunnittelutiedon määrittämiselle.
5. Määritetään keskimääräisellä ilmavirralla tuloilmaikkunan  $U_{qv}$ -arvo mitatuista suorituservoista.
  - a. VTT:n tiedotteessa 2329 on esitetty menettelytavat suunnittelutiedon määrittämiselle.
6. Lasketaan kuukausikohtaisesti lämpöhäviöiden määrä kaavalla 3. Lämpöhäviö-energian määrä saadaan kertomalla laskettu kuukauden keskimääräinen lämpöhäviö kuukauden tunneilla.

Vaihtoehtoon 2 mukainen energiansäästön osoitus voisi tapahtua seuraavasti:

1. Määritetään tuloilmaikkunoiden pinta-ala.
  - a. Käytetään valmiita suunnitteluarvoja, jos sellaiset on saatavilla.
  - b. Perusperiaatteen mukaan, jolloin jokaiseen asuinhuoneeseen tulee vähintään yksi tuloilmaikkuna. Tuloilmaikkunoiden pinta-alaa arvioitaessa käytetään ikkunoiden keskimääräistä kokoa.
2. Määritetään tuloilmaikkunoiden kautta tuleva ilmamäärä.
  - a. Käytetään valmiita suunnitteluarvoja, jos sellaiset on saatavilla.
  - b. Lasketaan vuotoilmanvaihto suunnitellun keskimääräisen rakennuksen alipaineisuuden ja rakennuksen vuotoilmakertoimen avulla. Vähennetään se tavoitteena olevasta rakennuksen kokonaisilmanvaihdesta. Saatu ilmamäärä on se osuus rakennuksen ilmanvaihdesta, joka tulee tuloilmaikkunoiden kautta.
3. Määritetään keskimäärin yhden tuloilmaikkunan kautta tuleva tuloilmavirta ( $\text{l/s} / \text{ikkuna m}^2$ ).
4. Määritetään keskimääräinen H-arvo ( $U_{qv}-U_v$ ) mitatuista suorituservoista.
  - a. VTT:n tiedotteessa 2329 on esitetty menettelytavat suunnittelutiedon määrittämiselle.
5. Määritetään muiden kuin tuloilmaikkunoiden pinta-ala ja U-arvo.
  - a. Lasketaan suunnitelmista muiden kuin tuloilmaikkunoiden pinta-alat.
6. Lasketaan ikkunoiden keskimääräinen U-arvo kaavalla 6.

7. Käytetään keskimääräistä U-arvoa ikkunoiden lämpöhäviöitä laskettaessa.

$$U_{av} = \frac{A_{ikk,ti}(U_{qv}-U_v)+A_{ikk,ni}U_{ni}}{A_{ikk,ti}+A_{ikk,ni}} \quad (6)$$

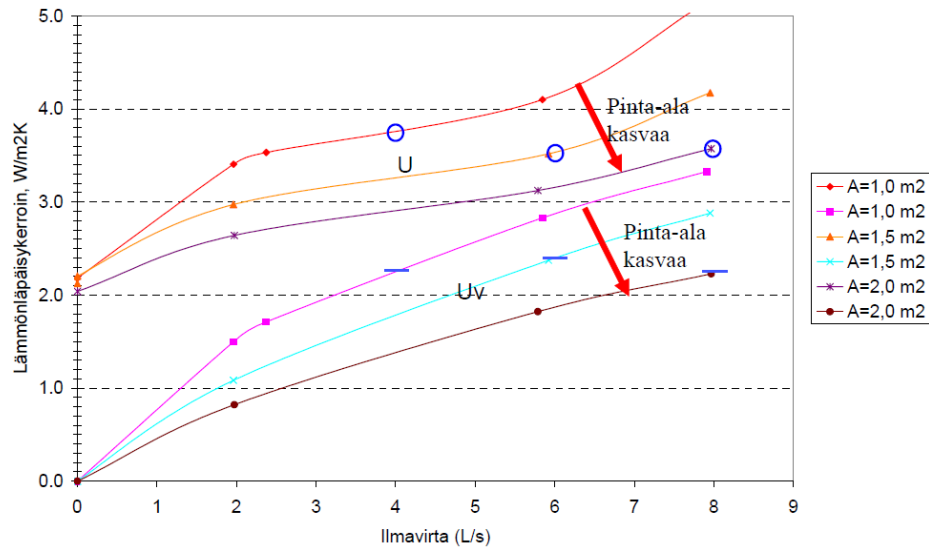
$U_{av}$	on ikkunoiden keskimääräinen lämmönläpäisykerroin (W / m <sup>2</sup> K)
$U_{qv}$	on lämmönläpäisykerroin, jossa on huomioitu ilmavirran jäähdyttävä vaikutus (W / m <sup>2</sup> K)
$U_v$	on lämmönläpäisykerroin, jonka mukainen lämpömäärä siirtyy tuloilmavirran mukana takaisin rakennukseen (W / m <sup>2</sup> K)
$U_{ni}$	on normaali-ikkunan lämmönläpäisykerroin (W / m <sup>2</sup> K)
$A_{ikk, ti}$	on tuloilmaikkunoiden pinta-ala (m <sup>2</sup> )
$A_{ikk, ni}$	on tavallisten ikkunoiden pinta-ala (m <sup>2</sup> )

### 5.2.2 Menetelmien epävarmuudet ja niiden huomiointi

Molemmissa tavoissa on esitetty käytettäväksi keskimääräisiä suoritusarvoja. Laske-malla kohteen suunnitteluarvoilla tuloilman määrä tuloilmaikkuna neliötä kohden voitai-siin T2329:n esittämän tavan mukaisesti mitatun tuloilmaikkunan mittaustuloksista mää-rittää riittävällä tarkkuudella keskimääräinen suoritusarvo. Keskimääräisten arvojen käyt-täminen sisältää epävarmuuksia, jotka tulee ottaa huomioon.

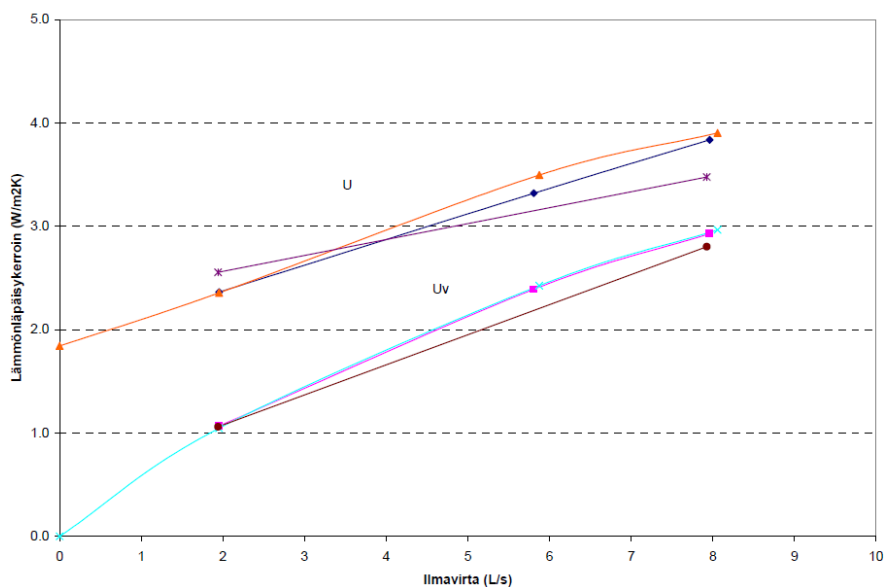
Kuvassa 19 on esitetty T2329:n kuvan 24 avulla, kuinka ikkunaelementin koko vaikuttaa lämmönläpäisykertoimiin eri ilmavirroilla. Sinisillä ympyröillä ja viivoilla on esitetty arvot, jotka saadaan, kun keskimääräiseksi ilmavirraksi tuloilmaikkunan neliötä kohden on suunnitteluarvoista saatu 4 l/s / m<sup>2</sup>. Havaitaan, että lämmönläpäisykertoimet ovat koh-talaisella tarkkuudella samat riippumatta mitatun ikkunan koosta.





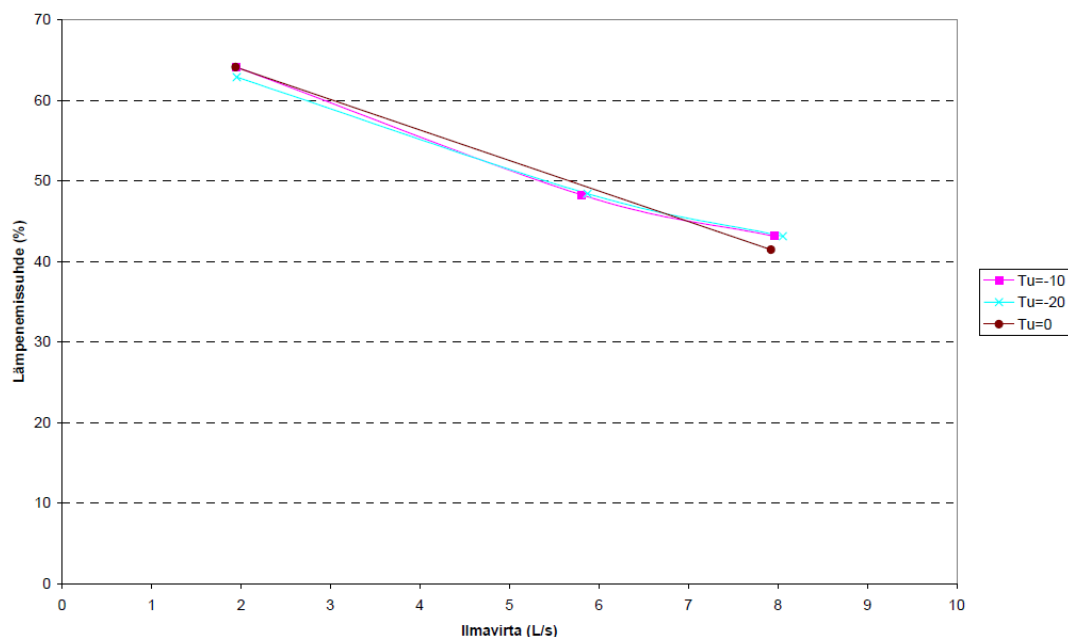
Kuva 19. Ikkunan koon vaikutus lämmönläpäisykertoimeen keskimääräisellä l/s / m<sup>2</sup> arvolla (15, s. 47).

Tuloilmaikkunan energiatehokkuustutkimuksen mukaan myöskään ulkoilman lämpötila ei juurikaan vaikuta ikkunoiden U-arvoon, teholliseen U-arvoon tai lämpenemissuhteeseen. Kuvat 20 ja 21 selventävät asiaa.



Kuva 20. Ulkolämpötilan vaikutus lämmönläpäisykertoimeen (15, s. 43).

Ulkolämpötilan vaikutus lämmönläpäisykertoimiin vaikuttaisi vähäiseltä. Mittaustulokset asettuvat kohtalaisella tarkkuudella samaan nippuun.



Kuva 21. Ulkolämpötilan vaikutus lämpenemissuhteeseen (15, s. 43).

Samoin lämpenemissuhde pysyy samana eri ilmavirroilla riippumatta ulkoilman lämpötilasta mittaushetkellä.

Havaitaan, että suoritusarvojen mittaushetkellä vallitsevien olosuhteiden ja todellisten olosuhteiden välinen ero ei merkittävästi vaikuta lopputulokseen, vaikkakin epävarmuutta mittauksiinkin sisältyykin. Merkittävässä roolissa menetelmien luotettavuudessa on tuloilmaikkunoiden pinta-alan ja niiden kautta saatavan ilmamäärän arviointi. Tarkimpaan lopputulokseen päästäisiin suunnittelemalla ensin huoneistokohtaisesti tuloilmaikkunoiden ja ulkoilmaventtiilien määrä ja laskemalla niiden kautta todellisuudessa saatava ilmamäärä suunnitellulla alipaineella.

### 5.2.3 Korjausrakentamisen energiatehokkuusmääräyksien toteutuminen

Teoriaosan luvussa 2.3, käsiteltiin ympäristöministeriön asetusta rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Tuloilmaikkunoihin perustuvan järjestelmän asennus tehdään yleensä ikkunaremontin yhteydessä, joka yleensä asuin-kerrostalossa on luvanvarainen toimenpide ja siksi kuuluu korjausrakentamisen energiatehokkuusasetuksen piiriin. Määräysten toteutuminen voidaan näissä tapauksissa osoittaa edellä esitetyn mukaisesti rakennusosakohtaisesti, uusien ikkunoiden U-arvon ol-

lessa alle  $1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Tämä on yleensä helpoin keino määräystenmukaisuuden osoittamiselle. VTT:n tiedotteen T2329:n tasauslaskelmia varten esittämää tapaa soveltaen voidaan tällöin käyttää laskelmissa ns. perusikkunan U-arvoa. Perusikkunalla tarkoitetaan tuloilmaikkunaa vastaavaa ikkunaa, jonka läpi ei johdeta ulkoilmaa.

Korjausrakentamisen energiatehokkuusmääräyksen mukaisesti voidaan erillisillä energiatehokkuutta parantavilla toimenpiteillä kompensoida muita energiatehokkuuteen vaikuttavia korjaustöitä. Myös lupaa edellyttämättömien toimenpiteiden yhteydessä tehtävät energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet voidaan huomioida myöhemmin muissa hankkeissa. Näissä tapauksissa ilmanvaihtojärjestelmän perusparannuksen avulla saavutettavasta energiasäästöstä saattaa olla hyötyä. Edellä esitettyjen menetelmien avulla voidaan arvioida tuloilmaikkunoilla saavutettavaa energiansäästöä. Osoitettaessa korjausrakentamisessa energiatehokkuuden paranemista kokonaisenergiankulutusta pienentämällä tulee laskea rakennuksen kokonaisenergiankulutus tai E-luku standardikäyttöön perustuen. Tässä työssä esitettyjen menetelmien toimivuutta kokonaisenergiankulutuksen ja E-luvun laskennassa tulee tarkastella jatkotutkimuksessa.

Energiatehokkuusmääräysten toteutumisen osoittamiseksi on lisäksi osoitettava, kuinka varmistetaan ilmanvaihdon oikea toiminta ja kuinka huolehditaan riittävästä tuloilman saannista. Samoin on varmistettava lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän oikea ja energiatehokas toiminta sekä tehtävä taloteknisten järjestelmien tasapainotus ja säätö tarpeellisin osin.

Tuloilmaikkunoihin ja uuteen puhaltimen ohjaukseen perustuvan järjestelmän yhteydessä voidaan osoittaa ilmanvaihdon toiminta esimerkiksi tässä työssä olevan järjestelmäkuvausten avulla. Riittävä tuloilman saanti varmistetaan ikkunaventtiilien ja tuloilmaikkunoiden asentamisella. Järjestelmän energiatehokas toiminta varmistetaan parantamalla energiatehokkuutta tuloilmaikkunoilla ja lämpötilakompensoidulla paineohjauksella. Ilmanvaihdon tasapainoisuus voidaan osoittaa järjestelmän asennuksen yhteydessä laadittavalla mittauspöytäkirjalla. Ilmanvaihdon saneerauksen yhteydessä suositellaan myös lämmitysverkoston tasapainotusta ja perussäätöä, jolloin varmistetaan ilmanvaihdon ja lämmityksen yhteistoiminta.

## 6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä insinööriyössä on esitelty yksi mahdollisista asuntoilmanvaihdon perusparannustoimenpiteistä. Teoriaosassa on käsitelty niitä seikkoja, jotka liittyvät oleellisesti asuntoilmanvaihtoon ja sen keskeisiin kehitystarpeisiin. Teknisessä osassa on esitelty uudenlainen ilmanvaihtojärjestelmä, jolla näihin ongelmiin on pyritty vastaamaan. Menetelmäosassa on käsitelty käytännön toimenpiteitä, joita järjestelmän asentamiseen liittyy. Tutkimusosassa on pyritty perustelemaan laskelmin ja mittaustuloksin järjestelmällä saavutettavia hyötyjä.

Työssä käsitelty järjestelmä on räätälöity asennettavaksi ikkunoiden vaihdon yhteydessä, jolloin rakennuksen tiiviys muuttuu ja sen aiheuttamat seuraukset on jouduttu ottamaan huomioon. Insinööriyössä on siten käsitelty rakennuksen tiiviiden vaikutuksia järjestelmän toimintaan ja ikkunaventtiilien määrään. Samoin on pohdittu rakennuksen alipaineisuuden vaikutuksia järjestelmän toimintaan. Tarkasteluista havaitaan, että tiiviydellä ja painesuhteilla on merkittävä rooli järjestelmän toiminnan kannalta ja näihin tulisi kiinnittää huomiota järjestelmää suunniteltaessa. Työssä on esitetty menetelmä, jolla voidaan arvioida tiiviiden, alipaineisuuden ja ikkunaventtiilien määrän välisiä suhteita.

Järjestelmän kehitys on pitkälti perustunut käytännössä hyväksi havaittuihin menetelmiin ja ratkaisuihin. Järjestelmällä on pyritty varmistamaan ilmanvaihdon toiminta kaikissa olosuhteissa ja minimoimaan koneellisen poistoilmanvaihdon ongelmia. Tässä työssä on perehdytty ratkaisujen teoriapohjaan ja käytännön kokemusten perusteella kehitetyt menetelmät on havaittu oikeansuuntaisiksi.

Koneellisen poiston ongelmakohtiin voidaan parannetulla koneellisen poiston järjestelmällä vaikuttaa positiivisella tavalla. Tuloilmaikkunoiden ansiosta korvausilmaa saadaan esilämmitettyä ja vedon tunnetta vähennettyä. Puhaltimen ajokäyrät ja vakiopaineohjaus lisäävät mahdollisuuksia räätälöidä rakennuskohtaisesti ilmanvaihdon toimintaa. Näin voidaan vaikuttaa esimerkiksi termiseen paine-eroon korkeissa rakennuksissa. Järjestelmään ohjelmallisesti saatavat käyttömoodit ja erilaiset tehostukset parantavat omalta osaltaan sisäilman laatua. Vakiopaineohjaus lisää mahdollisuuksia järjestelmän tehostamiselle myös asuntokohtaisesti, vaikka huoneistokohtaiset tehostusläpät ovat vielä tämän järjestelmän yhteydessä harvinaisia. Huoneistokohtaisen tehostuksen kehittämisessä onkin selkeä kehityspotentiaali.

Järjestelmän suuria vahvuuksia on sen asentamisen helppous ja edullisuus. Ikkunoiden vaihto tulee joka tapauksessa ajankohtaiseksi asuinkerrostaloissa, ja tällöin on välttämättä tarkastella rakennuksen tiiviyyden muutoksen vaikutuksia ilmanvaihdon toimintaan. Tällöin voidaan pienillä kustannuksilla ja toimenpiteillä varmistaa ilmanvaihdon oikea toiminta ja parantaa sisäilman laatua. Tässä työssä on myös käsitelty, kuinka oikeanlaisilla ilmanvaihdon perusparannustoimenpiteillä voidaan perustella näiden asioiden toteuttamista korjausrakentamisen energiatehokkuusasetuksen kannalta.

Käsiteltävän järjestelmän kehittämisessä pääpaino on ollut koneellisen poistoilmanvaihdon ongelmien minimoimisessa ja ilmanvaihdon toiminnan varmistamisessa. Järjestelmän on kuitenkin havaittu säästävän myös energiaa. Tässä työssä on perehdytty järjestelmällä saavutettavaan energiansäästöön ja tutustuttu järjestelmästä tehtyyn energiansäästötutkimukseen. Energiasäästöjen tarkastelussa havaitaan, että merkittävin energiansäästön tuoja järjestelmässä on tuloilmaikkunat. Työssä onkin kehitetty kaksi menetelmää, joilla voitaisiin laskennallisesti osoittaa tuloilmaikkunan asentamisen mukanaan tuomat energiasäästöt.

Kuten edellä on mainittu, ei millään ilmanvaihtojärjestelmällä saavuteta kaikkia hyvän järjestelmän kriteerejä. Perusparantamisella saavutettavat hyödyt riippuvat voimakkaasti rakennuksen ja vanhan ilmanvaihtojärjestelmän tilasta. Hatarassa rakennuksessa järjestelmällä saavutettavat hyödyt pienenevät huomattavasti, kun korvausilmaa tulee liikaa vuotoilmana eikä hallitusti tuloilmaikkunoiden kautta. Erityisesti korkeissa rakennuksissa huoneistojen alipaineisuuden, termisen paine-eron, tuloilmaikkunoiden määrän ja järjestelmän tasapainotuksen välisten suhteiden hallinta on vaikeaa. Jos järjestelmää voidaan tehostaa vain järjestelmäkohtaisesti, jäävät vakiopaineohjauksella saavutettavat hyödyt vähäisiksi. Huoneistokohtaisessa tehostuksessa taas ei voida taata täysin tasalaatuista ilmanvaihtoa tehostettavien ja tehostamattomien huoneistojen välillä. Energiasäästöjä voi olla vaikea saavuttaa tilanteessa, jossa uudella järjestelmällä joudutaan kompensoimaan vanhan järjestelmän liian vähäistä ilmanvaihtoa.

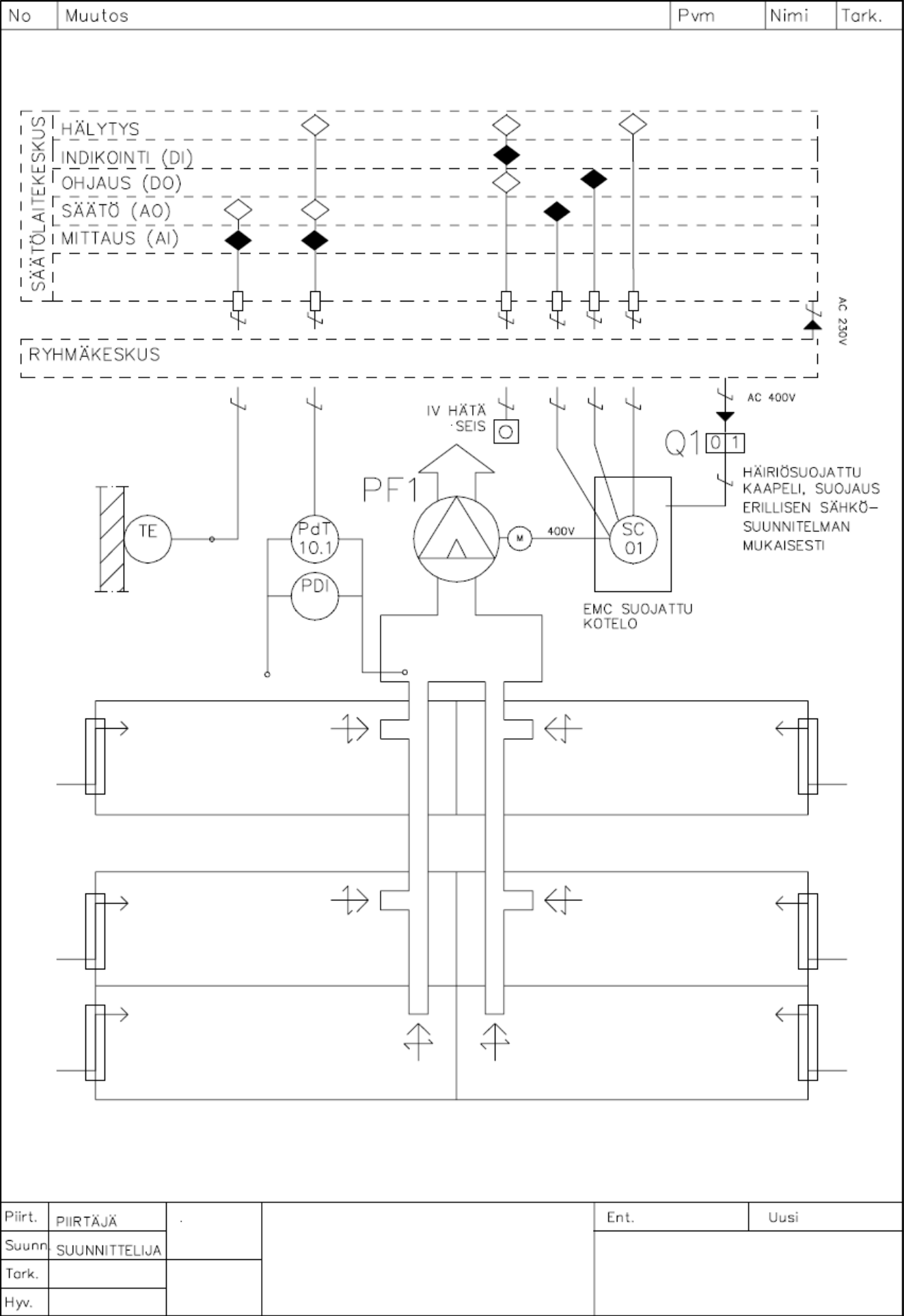
Kaiken kaikkiaan on tutkittu järjestelmä käytännössä toimivaksi havaittu helppo ja edullinen perusparannustoimenpide. Sen avulla saavutetaan mittauksin ja laskennallisesti osoitettavissa olevia parannuksia sisäilmanlaadussa ja energiatehokkuudessa. Järjestelmä on erittäin käyttökelpoinen kohteissa, joissa ilmanvaihtoon joudutaan kiinnittämään huomiota esimerkiksi ikkunaremontin yhteydessä eikä haluta lähteä kalliisiin investointeihin, mutta halutaan kuitenkin varmistaa järjestelmän toiminta.

## Lähteet

- 1 Säteri Jorma, Kovanen Keijo & Pallari Marja-Liisa. 1999. Kerrostalojen sisäilman ja energiatalouden parantaminen (VTT Tiedotteita 1945). Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- 2 Pallari Marja-Liisa, Heikkinen Jorma, Gabrielsson Juha, ym. 1995. Kerrostalojen ilmanvaihdon korjausratkaisut (VTT Tiedotteita 1645). Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- 3 Seppänen, Olli. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Espoo: Suomen LVI-yhdistys.
- 4 Seppänen Olli, Seppänen Matti. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Espoo: Sisäilmayhdistys ry.
- 5 Palonen, Jari. 2003. Asuntoilmanvaihto. Verkkodokumentti. Rakennustieto. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK040402.pdf>>. Muokattu 25.10.2004. Luettu 4.12.2014.
- 6 Säteri, Jorma. 1998. Käytännön ilmanvaihto. Espoo: Suomen LVI-liitto.
- 7 Mäkiö, Erkki. 1994. Kerrostalot 1960–1975. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 8 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 9 Rakennusten energiatehokkuus. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 10 Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. 4/13.
- 11 Taloyhtiöt janoavat tietoa korjaamisesta. 2014. Verkkodokumentti. Kiinteistöposti. <<http://www.kiinteistoposti.fi/artikkelit/taloyhtiot-janoavat-tietoa-korjaamisesta/>>. Luettu syksyllä 2014.
- 12 Seuri Markku, Palomäki Eero. 2000. Haasteellinen sisäilma. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 13 LVI 73–4001. 1991. Ohjekortti. Rakennustietosäätiö.

- 14 Säteri Jorma, Airaksinen Miimu, Matialinen Veijo. 2008. Asuntoilmanvaihto, Asuinrakennuksen sisäilmaston ja ilmanvaihdon suunnittelu ja toteutus. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 15 Heimonen Ismo, Hemmilä Kari. 2006. Tuloilmaikkunan energiatehokkuus (VTT Tiedotteita 2329). Espoo: VTT.
- 16 Biobe ThermoPlus hyödyntää tuloilmaikkunan lämpöhäviöt talvella tehokkaasti. 2015. Verkkodokumentti. Biobe Oy. <<http://www.biobe.fi/tuotteet/venttiilit/thermo-plus.htm>>. Luettu 29.1.2015.
- 17 Biobe AutoThermo, Älykäs ja vaivaton tuloilmaikkunaventtiili. 2014. Tuotedokumentti. Biobe Oy. Viitattu 19.3.2015.
- 18 Air-In® tuloilmaikkuna, Kameleonttiventtiilit. 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.dir-air.fi/assets/files/esitteet/Air-In-kameleontti-tuloilmaikkunaventtiilit-esite2013.pdf>>. Luettu 29.1.2014.
- 19 Holopainen Rauno, Pasanen Pertti, Railio Jorma, Säteri Jorma, Virranta Petteri. 2008. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja tasapainotus. Helsinki: Opetushallitus.
- 20 Huippuimuri STEF 3-vaihemoottorit. 2014. Verkkodokumentti. Fläktwoods Oy. <<http://www.fläktwoods.fi/1a054cfa-1013-45dd-9a1f-095e347dd7bb>>. Luettu ke-vät 2015.
- 21 Ilmavirtaus rakennuksessa. 2008. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys ry. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/kosteusvauriot/kosteustekninen-toiminta/ilmavirtaukset-rakennuksessa/>>. Luettu 8.4.2015.
- 22 Heikkinen Jorma, Korkala Tapio, Luoma Marianna, Salomaa Heikki. 1987. Ilmanvaihtojärjestelmien virhetoiminnot ja häiriöalttius (VTT Tiedotteita 737). Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- 23 Seppänen, Kim. 2010. Painesuhteet rakennuksen ulkovaipan yli. Kuopio: Itä-Suomen yliopisto.
- 24 PCE\_tiedonkeruupohja\_Pihla.xlsx. Motiva Services Oy:n tekemän tutkimuksen laskentatulokset taulukot. Inwido Finland Oy.

Säätökaavio (skaalattu)





No	Muutos	Pvm	Nimi	Tark.
<h1>TOIMINTASELOSTUS</h1> <p>1. OHJAUKSET</p> <p>KOJEEN TOIMINTAA OHJATAAN SÄÄTÖJÄRJESTELMÄN AJOKÄYRÄN PERUSTEELLA AIKAOHJELMAN MUKAISESTI.</p> <p>2. TOIMINTA KOJEEN KÄYDESSÄ</p> <p>SÄÄTÖLAITEKESKUS PITÄÄ TARVITTAVAN ILMAMÄÄRÄN MUKAISEN POISTOILMAKANVAPAIKSEN AJOKÄYRÄN MUKAISESSA ASETUSARVOSSAAN SÄÄTÄMÄLLÄ 0–10V JÄNNITEVIESTIN VÄLITYKSELLÄ PUHALTIMEN PF1 MOOTTORIN TEHOA TAAJUUSMUUTTAJAN SC01 AVULLA, PAINE-EROMITTAUKSEN PdT10.1 JA LÄMPÖTILAMITTAUKSEN TE PERUSTEELLA. POISTOILMAPUHALLIN PF1 KÄY AIKAOHJELMALLA TEHOSTUKSELLA JA MUULLOIN PERUSILMANVAIHDOLLA HELLEKRITEERIN (LÄMPÖTILA 25°C YLI 120 MIN/VRK) YLITTYESSÄ KYTKEYTYY PUHALLIN PF1 TEHOSTUKSELLE YÖ AJAKSI (YÖTUULETUS).</p> <p>2. AJOKÄYRÄT</p> <p>PUHALTIMEN AJOKÄYRÄN ARVOT ASETELLAAN SITEN ETTÄ POISTOILMAKANVAPAIKSEN PIENELLÄ POISTOPAIKKEELLA TUOTTAAN TOLERANSSIEN PUITTEISSA RAKENNUKSEN PERUSILMANVAIHDON JA SUURELLA POISTOPAIKKEELLA TEHOSTAA PERUSILMANVAIHTOA VÄHINTÄÄN +30%.</p> <div style="text-align: center;"> </div>				
Piirt.	PIIRTÄJÄ		Ent.	Uusi
Suunn.	SUUNNITTELIJA			
Tark.				
Hyv.				

[illegible]

## Rakennusten tiiviynen vaikutus koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaan

Tässä liitteessä on esitetty insinööriyön luvussa 3.4.2 (ikkunaventtiilit ja tiiviys) olevan kuvasarjan pohjalla oleva teoria ja laskenta.

### Rakennusten tiiviys

Rakennusten tiiviys voidaan ilmoittaa kahdella eri tavalla  $n_{50}$  luku tai  $q_{50}$  luku.

Ilmanvuotoluku  $n_{50}$  (1/h) kertoo, montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotojen takia, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa ali- tai yli-paine. Rakennuksen sisätilavuus mitataan ulkovaipan sisäpintojen mukaan, välipohjia ei lasketa ilmatilavuuteen.

Ilmanvuotoluvulla  $q_{50}$  ( $\text{m}^3 / \text{h m}^2$ ) kuvataan rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Rakennusvaipan pinta-alaan lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ylä- ja alapohja.

Muunnos  $n_{50}$  luvusta  $q_{50}$  lukuun tapahtuu kaavalla 1.

$$q_{50} = \frac{n_{50} * V}{A_{\text{vaippa}}} \quad (1)$$

Ja muunnos  $q_{50}$  luvusta  $n_{50}$  lukuun tapahtuu kaavalla 2.

$$n_{50} = \frac{q_{50} * A_{\text{vaippa}}}{V} \quad (2)$$

joissa  $V$  on rakennuksen ilmatilavuus  $\text{m}^3$  ja  $A_{\text{vaippa}}$  on rakennusvaipan pinta-ala  $\text{m}^2$ . (Päloniitty Oy, 2015.)

## Vuotoilmanvaihto

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa on ilmanvaihdon käyttövoimana rakennukseen puhaltimen avulla kanavistoon imettävä alipaine. Fysiikan perussääntöjen mukaan paineet pyrkivät tasoittumaan ja ilma virtaa korkeammasta paineesta matalampaan. Rakennuksen vaipan läpi tapahtuvaa vuotoilmanvaihtoa voidaan arvioida kaavalla 3 (Pallari ym. 1995).

$$n_v = n_{50} * \left( \frac{\Delta p_v}{50} \right)^{0,7} \quad (3)$$

$n_v$  on vuotoilmavirta 1/h

$n_{50}$  on ilmanvuotoluku 1/h

$\Delta p_v$  on vaipan yli oleva paine-ero Pa.

## Huoneiston tiiviys vuotoilma ja ikkunaventtiilien määrä

Kuvasarjaa varten tutkittiin esimerkkihuoneistoa 3H + K. Huoneiston pinta-ala on 75 m<sup>2</sup> ja tilavuus 187,5 m<sup>3</sup>.

Insinöörityössä aiheena olevassa poistoilmanvaihdossa käytetään korvausilman sisään-otossa tuloilmaikkunoita. Tuloilmaikkunat sisältävät oleellisesti kaksi osaa: ikkunaosan ja ikkunaventtiilin. Markkinoilla on useita erilaisia ikkunaventtiileitä, joita on esitelty insinöörityössä.

Tarkasteltaessa korvausilman sisäänottoa vuotoilmana ja hallitusti tuloilmaikkunoiden kautta, tulee tuntea rakennuksen ilmanvuotoluvun lisäksi tuloilmaikkunoiden ominaiskäyrä. Ominaiskäyrä on yleisesti muotoa

$$q_v = k * \Delta p^n \quad (4)$$

$q_v$  on ilmavirta l/s

$\Delta p$  on painehäviö Pa

$k$  on virtausvastus

$n$  on virtauseksponentti

Ominaiskäyrä voidaan määrittää mittaamalla ilmavirta-painehäviökäyrä. Yksi mahdollinen mittausmenetelmä tuloilmaikkunoille on esitetty insinööriyön lähteessä 15.

Mitattujen ominaiskäyrien parametrien  $k$  ja  $n$  avulla voidaan laskea venttiilin kautta eri paine-eroilla saatava ilmamäärä. Ilmamäärä lasketaan kaavalla 4.

Koska markkinoilla on useita ominaisuuksiltaan erilaisia ikkunaventtiileitä, on tässä työssä tarkastelua varten haarukoitu 400 mm ja 600 mm ikkunaventtiileille keskimääräiset virtausvastukset  $k$  ja virtauseksponentit  $n$ , joiden avulla ikkunaventtiilien määrän ja tiiviyden vaikutuksien arvioinnin menetelmä voidaan esittää. Käytetyt parametri  $k$  ja  $n$  eivät siis ole todellisten tuloilmaikkunoiden ominaiskäyrien mukaisia, eivätkä perustu mitauksiin. Suunnittelussa tulee aina käyttää valitun tuloilmaikkunan todellisia suoritustarvoja. Tässä laskennassa esitetty arviointimenetelmä on kuitenkin käyttökelpoinen riippumatta valituista parametreista. Taulukossa 1 on listattu tarkastelussa käytetyt ominaiskäyrän virtausvastukset ja virtauseksponentit, sekä lasketut ilmamäärät eri paine-eroilla.

Taulukko 1 Tarkastelussa käytetyt haarukoidut ikkunaventtiilien ominaiskäyrien arvot

	ikkunaventtiili 400mm	ikkunaventtiili 600mm
k	0,79125	1,11393
n	0,70335	0,67583
1	0,79	1,11
2	1,29	1,78
3	1,71	2,34
4	2,10	2,84
5	2,45	3,31
6	2,79	3,74
7	3,11	4,15
8	3,42	4,54
9	3,71	4,92
10	4,00	5,28
11	4,27	5,63
12	4,54	5,97
13	4,81	6,31
14	5,06	6,63
15	5,32	6,95
16	5,56	7,26
17	5,80	7,56
18	6,04	7,86
19	6,28	8,15
20	6,51	8,44
Pa	l/s	l/s

Kuvasarjaa varten tutkittiin ilmanvaihtuvuuden määrää tiiviydeltään erilaisissa rakennuksissa erilaisilla paine-eroilla. Laskennassa määritettiin ensin vallitseva alipaine ja tällä alipaineella huoneistoon syntyvä vuotoilmanvaihtokerroin kaavalla 3. Kaavalla 5 saatiin laskettua huoneiston vuotoilmanvaihto.

$$q_{v,vuoto} = (n_v * V) / 3,6 \quad (5)$$

$q_{v, vuoto}$	on vuotoilmanvaihto l/s
$n_v$	on valitulla paine-erolla saavutettava vuotoilmanvaihto 1/h
$V$	on huoneiston tilavuus m <sup>3</sup>

Kaavalla 4 laskettiin valitulla paine-erolla yhden ikkunaventtiilin kautta saatava ilmamäärä. Laskemalla vuotoilmanvaihdon ja valittujen ikkunaventtiilien kautta saatava ilmanvaihto yhteen saatiin valituilla parametreilla huoneiston läpi liikkuva ilmamäärä. Peruseriaatteena muuttujien valinnassa pidettiin, että jokaisessa asuinhuoneessa tulisi olla ainakin yksi tuloilmaikkuna.

Tutkimuksen pohjalta laadittiin insinööriyön teknisessä osassa oleva kuvasarja. Esi-merkkitapauksiksi valittiin tilanteet, joissa rakennuksen ilmamäärät ovat D2 ohjearvojen mukaiset ja rakennuksen tiiviyydet vaihtelevat asuinkerrostalolle tyypillisellä vaihteluvälillä. Kuvasarjan tapauksissa rakennuksen tiiviyydet ovat 0,5 1/h; 1,2 1/h ja 2,5 1/h. Kuvasarjassa on esitetty kussakin tilanteessa mahdollinen korvausilmaratakin tuloilmaikkunoita käyttäen. Tarkastelussa ei ole huomioitu rakennuksen sisäisiä vuotoja ja sisäistä tiiviyyttä.

## **Lähteet**

Pallari Marja-Liisa, Heikkinen Jorma, Gabrielsson Juha, ym. 1995. Kerrostalojen ilmanvaihdon korjausratkaisut (VTT Tiedotteita 1645). Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Tiiviysmittaus. 2015. Verkkodokumentti. Paloniitty Oy. < <http://www.paloniitty.fi/page.php?sivu=18>>. Luettu kevät 2015.

## Energiansäästön osoittaminen laskennallisesti, esimerkkilaskennat

Tässä liitteessä esitetään esimerkkilaskennat insinööriyön tutkimusosassa esitetyille menetelmille, joiden avulla voitaisiin osoittaa tuloilmaikkunan asentamisen energiasäästöjä.

Laskentakohteena on hieman muokattu versio ympäristöministeriön laatiman energiatoistosoppaan liitteenä olevan 1970-luvun asuinkerrostalon laskentaesimerkin kohteesta. Kohteen lähtötiedot ovat:

tilavuus	3250 m <sup>3</sup>
kerrosala	1300 m <sup>2</sup>
asuntojen lukumäärä	17 kpl
kerrosten lukumäärä	3 kpl
vuotoilmaluku $n_{50}$	1 l/h
suunniteltu keskimääräinen alipaine asunnoissa	10 Pa
ikkunoiden pinta-ala	199,5 m <sup>2</sup>
kaukolämmön vuosikulutus	233400 kWh

Laskennassa on käytetty tuloilmaikkunoiden suoritusarvoina VTT:n tiedotteesta T2329 löytyviä mittaustuloksia. On huomattava, että ko. tutkimus on tehty vuonna 2006 ja suoritusarvot eivät vastaa nykyisten ikkunoiden suoritusarvoja. Koska tuoreempaa tietoa ei ole saatavissa, on kuitenkin päädytty osoittamaan menetelmien toiminta näillä arvoilla. Näin ollen näiden esimerkkien laskentatuloksena saadut energiasäästöt eivät vastaa tämänhetkisten tuloilmaikkunoiden energiansäästöä johtuen suoritusarvojen kehityksestä. Laskennassa käytetyt mittausarvot on mitattu MSK-tyyppiselle ikkunalle (3 erillistä lasia, ilmakierto kahden lasivälin kautta) niin sanotulla hot-box -menetelmällä. (Heimonen & Hemmilä. 1995.)



### Esimerkilaskelma tavalla 1

1. Määritetään tuloilmaikkunoiden kautta tuleva ilmamäärä.

Lasketaan vuotoilmanvaihto suunnitellun keskimääräisen rakennuksen alipaineisuuden 10 Pa ja rakennuksen vuotoilmakertoimen 1 1/h avulla. Käytetään liitteen 3 kaavoja 3 ja 5.

$$\frac{\left(1 \frac{1}{h} * \left(\frac{10 \text{ Pa}}{50 \text{ Pa}}\right)^{0,7}\right) * 3250 \text{ m}^3}{3,6} = 293 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Vähennetään tämä ilmamäärä tavoitteena olevasta rakennuksen kokonaisilmanvaihdosta. Saatu luku on se osuus rakennuksen ilmanvaihdosta, joka tulee tuloilmaikkunoiden kautta.

Tavoiteltu ilmanvaihto on 0,5 1/h. Näin ollen kokonaisilmanvaihto on

$$\frac{0,5 \frac{1}{h} * 3250 \text{ m}^3}{3,6} = 451 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Tästä saadaan erotuksena tuloilmaikkunoiden kautta saatava ilmanvaihto.

$$451 \frac{\text{l}}{\text{s}} - 293 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 158 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

2. Määritetään tuloilmaikkunoiden pinta-ala.

Asuinkerrostalossa on 17 asuntoa ja keskimäärin asunnoissa arvioidaan olevan kolme asuinhuonetta. Tuloilmaikkunoiden määräksi arvioidaan

$$3 * 17 = 51 \text{ kpl}$$

Keskimääräiseksi tuloilmaikkunan kooksi arvioidaan

$$1,2 \text{ m} * 1,2 \text{ m} = 1,44 \text{ m}^2$$

Tuloilmaikkunoiden pinta-alaksi saadaan arvio

$$1,44 \text{ m}^2 * 51 = 73,44 \text{ m}^2$$

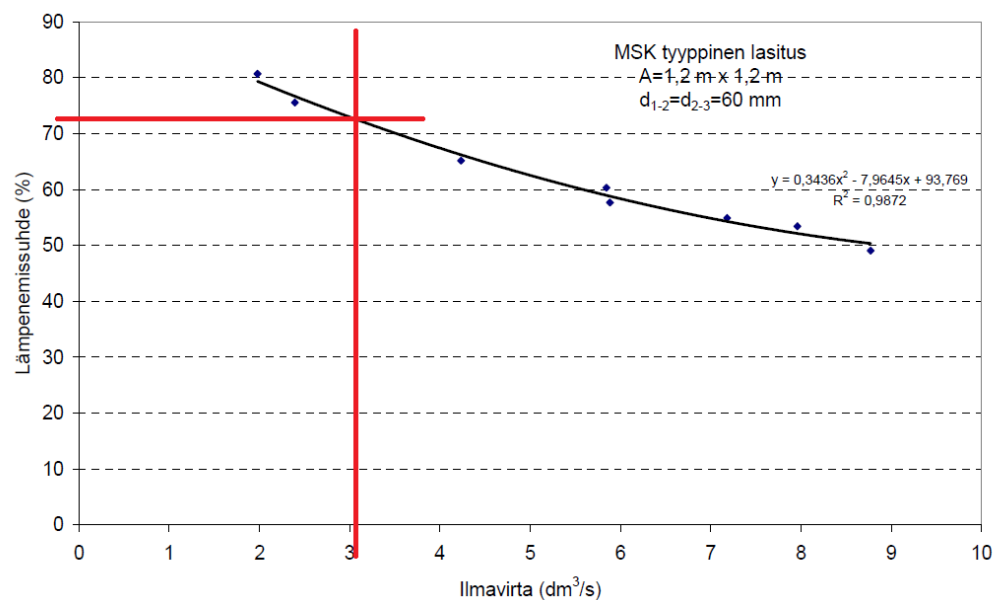
3. Määritetään keskimäärin yhden tuloilmaikkunan kautta tuleva tuloilmavirta (l/s / ikkuna m<sup>2</sup>).

Yhden tuloilmaikkuna neliön kautta saadaan ilmaa keskimäärin ilmaa

$$\frac{159 \frac{\text{l}}{\text{s}}}{73,44 \text{ m}^2} = \frac{2,16 \frac{\text{l}}{\text{s}}}{\text{m}^2}$$

4. Määritetään keskimääräisellä ilmavirralla tuloilman lämpenemissuhde epsilon ε.

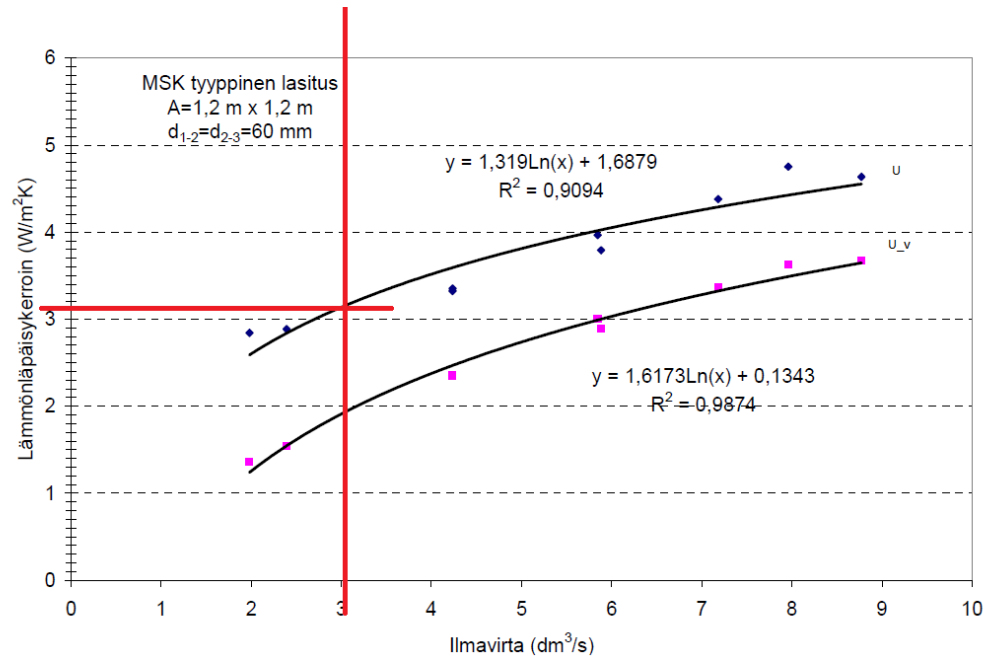
Tässä esimerkissä käytetyt tuloilmaikkunan suoritusarvot on mitattu 1,2 m \* 1,2 m = 1,44 m<sup>2</sup>:n kokoiselle ikkunalle, joten lasketaan 2,16 l/s / m<sup>2</sup> \* 1,44 m<sup>2</sup> = 3,11 l/s luetaan lämpenemissuhde tämän arvon kohdalta. VTT:n mitamaan ikkunan lämpenemissuhteeksi saadaan 73 % (kuva 1).



Kuva 1. (Heimonen & Hemmilä. 1995: 52) Lämpenemissuhteen määrittäminen

5. Määritetään keskimääräisellä ilmavirralla ikkunan U-arvo.

Luetaan valmistajan mittaaman ikkunan suoritusarvojen kuvaajasta ikkunan U-arvo suunnitellulla keskimääräisellä ilmavirralla 3,11 l/s. Saadaan ikkunan U-arvoksi noin 3,1 W / m<sup>2</sup>K (kuva 2).



Kuva 2. (Heimonen & Hemmilä. 1995: 51) Lämmönläpäisykerroin määrittäminen tilanteessa jolloin ikkunan läpi virtaa ulkoilmaa

6. Lasketaan kuukausikohtaisesti energiankulutus insinööriyön tutkimusosan kaavalla 3. Lämpöhäviöenergian määrä saadaan kertomalla laskettu kuukauden keskimääräinen lämpöhäviö kuukauden tunneilla.

Kuukausikohtaisessa laskennassa käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 säädataa, joka on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 kuukausikohtainen säädata

	Päiviä	Tunteja	Keskimääräinen ulkolämpötila °C
tammikuu	31	744	-3,97
helmikuu	28	672	-4,5
maaliskuu	31	744	-2,58
huhtikuu	30	720	4,5
toukokuu	31	744	10,76
kesäkuu	30	720	14,23
heinäkuu	31	744	17,3
elokuu	31	744	16,05
syyskuu	30	720	10,53
lokakuu	31	744	6,2
marraskuu	30	720	0,5
joulukuu	31	744	-2,19

Kuukauden keskilämpötilalla ja edellä määritetyillä suoritusarvoilla lasketut kuukausikohtaiset lämpöhäviöt muunnetaan lämpöhäviöenergiaksi yksikön kWh kertomalla kuukauden tunneilla ja jakamalla 1000.

Esimerkkikohteen tuloilmaikkunoiden lämpöhäviöenergian tammikuun laskenta:

$$\begin{aligned}
 & Q_{\text{tuloilmaikkunat}} \\
 &= \frac{(3,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}} * 73,44 \text{ m}^2 * (21\text{°C} - (-3,97\text{°C})) + (1 - 0,73) * 159 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg°C}} (21\text{°C} - (-3,97\text{°C}))) * 744\text{h}}{1000} \\
 &= 5187\text{kWh}
 \end{aligned}$$

Samalla tavalla lasketaan muidenkin kuukausien tuloilmaikkunoiden lämpöhäviö ja saadaan taulukon 2 mukaiset tulokset:

Taulukko 2. Tuloilmaikkunan lämpöhäviöenergiat kuukausittain laskettuna menetelmällä 1

Tuloilmaikkunan lämpöhäviöenergia		
tammikuu	5185,1343	kWh
helmikuu	4782,7534	kWh
maaliskuu	4896,4945	kWh
huhtikuu	3315,7744	kWh
toukokuu	2126,3827	kWh
kesäkuu	1360,4723	kWh
heinäkuu	768,32187	kWh
elokuu	1027,8901	kWh
syyskuu	2104,0096	kWh
lokakuu	3073,2875	kWh
marraskuu	4119,5985	kWh
joulukuu	4815,5092	kWh
	37575,628	kWh/a

Vaikka kohteessa on tuloilmaikkunat, tulee osa korvausilmasta silti ilma-  
vuotoina. Vuotoilman lämmittämiseen tarvittava energia lasketaan myös  
kuukausikohtaisen säädäntä avulla.

Esimerkkikohteen vuotoina tulevan korvausilman lämmittämiseen tarvit-  
tava energia tammikuussa lasketaan seuraavasti:

$$Q_{vuotoilma} = \frac{293 \text{ l/s} * 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (21^\circ\text{C} - (-3,97^\circ\text{C})) * 744\text{h}}{1000} \approx 6500\text{kWh}$$

Samalla tavalla lasketaan muinakin kuukausina vuotoina tulevan korvaus-  
ilman lämmittämiseen tarvittavat energiat. Tulokset on esitetty taulukossa  
3.

Taulukko 3. Korvausilman lämmittämiseen tarvittava energia kuukausittain

Korvausilman sisäänotto vuotoina		
tammikuu	6523,409	kWh
helmikuu	6017,174	kWh
maaliskuu	6160,271	kWh
huhtikuu	4171,57	kWh
toukokuu	2675,198	kWh
kesäkuu	1711,608	kWh
heinäkuu	966,6244	kWh
elokuu	1293,187	kWh
syyskuu	2647,051	kWh
lokakuu	3866,498	kWh
marraskuu	5182,86	kWh
joulukuu	6058,384	kWh
	47273,83	kWh/a

Esimerkkikohteessa on muita kuin tuloilmaikkunoita 126,06 m<sup>2</sup>. Niiden kuukausikohtaiset lämpöhäviöenergiat lasketan kaavalla

$$U * A * \Delta T * \Delta t_{kk} / 1000 \quad (1)$$

U on ikkunan lämmönläpäisykerroin W / m<sup>2</sup>K

A on ikkunan pinta-ala m<sup>2</sup>

$\Delta T$  on lämpötilaero °C

$\Delta t_{kk}$  on tarkasteltava ajanjakso h

U-arvona on käytetty laskennassa käytetyn testi-ikkunan U-arvoa kun sen läpi ei ole ilmavirtausta (1,8 W / m<sup>2</sup>K). Tulokset on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 4. Muiden kuin tuloilmaikkunoiden lämpöhäviöenergiat kuukausittain

Muiden kuin tuloilmaikkunoiden lämpöhäviöenergiat		
tammikuu	4215,424	kWh
helmikuu	3888,295	kWh
maaliskuu	3980,765	kWh
huhtikuu	2695,667	kWh
toukokuu	1728,712	kWh
kesäkuu	1106,04	kWh
heinäkuu	624,6323	kWh
elokuu	835,6568	kWh
syyskuu	1710,523	kWh
lokakuu	2498,529	kWh
marraskuu	3349,162	kWh
joulukuu	3914,925	kWh
	30548,33	kWh/a

Kokonaisuudessaan tuloilmaikkunoiden asentamisen jälkeen esimerkki-kohteen ikkunoiden lämpöhäviöenergioiden ja korvausilman lämmittämiseen tarvittavan energian summa on: 37575,628 kWh + 47273,83 kWh + 30548,33 kWh = 115397,8 kWh.

Jotta voidaan tarkastella energiansäästöä, tulee laskea lämpöhäviöenergiat myös vertailutapauksissa. Tässä esimerkkilaskennassa laskettiin tapaus, jossa kaikki ikkunat ovat vanhoja ikkunoita ( $U = 2,8 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$ ) ja kaikki korvausilma tulee vuotoina lämmittämättömänä. Samoin laskettiin tapaus, jossa on uudet  $U$ -arvoltaan  $1,8 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$  ikkunat ja kaikki ilma otetaan käsittelemättömänä. Jotta tapauksien suoritusarvot olisivat vertailukelpoisia keskenään, on uuden ikkunan  $U$ -arvona käytetty mitatun tuloilmaikkunan  $U$ -arvoa, kun sen läpi ei virtaa ollenkaan ilmaa ( $U = 1,8 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$ ). Tulokset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Menetelmän 1 esimerkkilaskennan tulokset

<b>Tuloilmaikkunat</b>		
Tuloilmaikkunoiden lämpöhäviöenergia	37576 kWh/a	
Vuotoilman lämmittämiseen tarvittava energia	47274 kWh/a	
Muiden kuin tuloilmaikkunoiden lämpöhäviöenergia	30548 kWh/a	
Lämpöhäviöenergia yhteensä	115398 kWh/a	
<b>Vanhat ikkunat</b>		
Vanhojen ikkunoiden lämpöhäviöenergia	75204 kWh/a	
Vuotoilman lämmittämiseen tarvittava energia	72924 kWh/a	
Lämpöhäviöenergia yhteensä	148127 kWh/a	
<b>Uudet ikkunat</b>		
Uusien ikkunoiden lämpöhäviöenergia	48345 kWh/a	
Vuotoilman lämmittämiseen tarvittava energia	72924 kWh/a	
Lämpöhäviöenergia yhteensä	121269 kWh/a	
<b>Energiansäästöt</b>		
KL energiankulutus	233400 kWh	
	kWh/a	% KL kulutuksesta
Vanhat ikkunat–Tuloilmaikkunat	32730	14 %
Uudet tavalliset ikkunat–Tuloilmaikkunat	5871	3 %

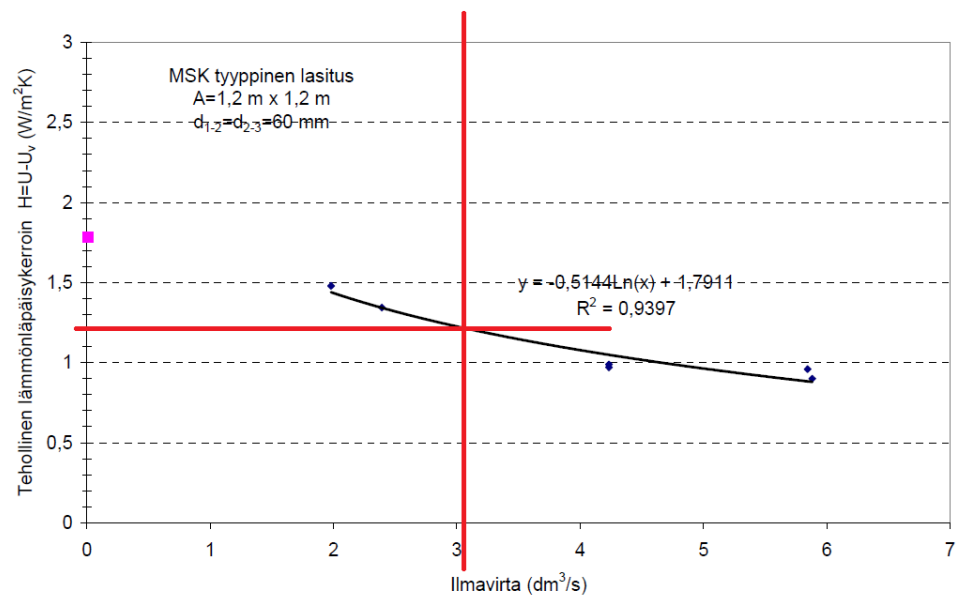
**Esimerkkilaskelma tavalla 2**

Tavan 2 kohdat 1–3 ovat vastaavat kuin tavassa 1.

4. Määritetään keskimääräinen H-arvo ( $U_{qv}-U_v$ ).

Tuloilmaikkunan suoritusarvot on mitattu  $1,2\text{ m} \times 1,2\text{ m} = 1,44\text{ m}^2$  kokoiselle ikkunalle, joten lasketaan  $2,16\text{ l/s} / \text{m}^2 \times 1,44\text{ m}^2 = 3,11\text{ l/s}$  luetaan tehollinen lämmönläpäisykerroin tämän arvon kohdalta mitattujen suoritusarvojen kuvaajasta (kuva 3). Saadaan teholliseksi lämmönläpäisykertoimeksi  $H = 1,2\text{ W} / \text{m}^2\text{K}$ .





Kuva 3. (Heimonen & Hemmilä. 1995: 52) Tehollisen lämmönläpäisykerroin määrittäminen

5. Määritetään muiden kuin tuloilmaikkunoiden pinta-ala ja U-arvo.

Muiden ikkunoiden pinta-ala on esimerkkikohteessa 126,06 m<sup>2</sup> ja U-arvona pidetään laskelmissa käytetyn tuloilmaikkunan U-arvoa tilanteessa, jossa sen kautta ei oteta ollenkaan ilmaa.

6. Lasketaan keskimääräinen U-arvo insinöörityön tutkimus osan kaavalla 6.

$$\frac{\left(73,44 \text{ m}^2 * 1,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right) + \left(126,06 \text{ m}^2 * 1,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right)}{199,5 \text{ m}^2} = 1,579 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

7. Käytetään keskimääräistä U-arvoa ikkunoiden lämpöhäviöitä laskettaessa insinöörityön tutkimusosan kaavalla 4.

Energiasäästöjä arvioitaessa riittää kaavan ensimmäisen termin laskeminen, koska tuloilman lämpeneminen on otettu huomioon tehollisessa lämmönläpäisykerroinissa. Korvausilman lämpeneminen voidaan laskea, mutta se on kaikissa vertailutapauksissa saman suuruinen.

Esimerkkitapauksen ikkunoiden lämpöhäviöenergia tammikuulta lasketaan seuraavasti:

$$Q_{ikkunat} = \left( \frac{1,579 \frac{W}{m^2K} * 199,5 m^2 * (21^{\circ}C - (-3,97^{\circ}C)) * 744}{1000} \right) \approx 5900 kWh$$

Vastaavalla tavalla on laskettu muiden kuukausien ja vertailutapauksien lämpöhäviöenergiat. Lopputuloksena saatiin seuraavat tulokset:

Taulukko 6. Menetelmän 2 esimerkkilaskennan tulokset

<b>Tuloilmaikkunat</b>		
Tuloilmaikkunoiden lämpöhäviöenergia	42413 kWh/a	
Lämpöhäviöenergia yhteensä	42413 kWh/a	
<b>Vanhat ikkunat</b>		
Vanhojen ikkunoiden lämpöhäviöenergia	75204 kWh/a	
Lämpöhäviöenergia yhteensä	75204 kWh/a	
<b>Uudet ikkunat</b>		
Uusien ikkunoiden lämpöhäviöenergia	48345 kWh/a	
Lämpöhäviöenergia yhteensä	48345 kWh/a	
<b>Energiansäästöt</b>		
KL energiankulutus	233400 kWh	
	kWh/a	% KL kulutuksesta
Vanhat ikkunat-Tuloilmaikkunat	32791	14 %
Uudet tavalliset ikkunat-Tuloilmaikkunat	5932	3 %

## **Lähteet**

Heimonen Ismo, Hemmilä Kari. 2006. Tuloilmaikkunan energiatehokkuus (VTT Tiedotteita 2329). Espoo: VTT.